



Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE O TESINA D'ESPECIALITAT

Títol

**REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES: GRUPO DE VIVIENDAS EN EL
MUNICIPIO DE VICTORIA DE ACENTEJO**

Autor/a

M^a Teresa Ysún Barrio

Tutor/a

Rafael Mujeriego Sahuquillo

Departament

Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental

Intensificació

Enginyeria Sanitària i Ambiental

Data

Octubre de 2009

RESUMEN

Reutilización de aguas grises: grupo de viviendas en el municipio de Victoria de Acentejo.

Autora: M^a Teresa Ysún Barrio.

Tutor: Rafael Mujeriego Sahuquillo.

Las peculiaridades climáticas de la isla de Tenerife hacen que la gestión sostenible de sus recursos hídricos sea un elemento fundamental de su desarrollo. La presión a la que están siendo sometidas las fuentes convencionales de agua está obligando a buscar fuentes alternativas de producción de agua. Esta tesina analiza el potencial de la reutilización de las aguas grises generadas en las viviendas para devenir una fuente no convencional de agua, y ofrecer así una opción adicional con la que paliar los déficits hídricos.

La falta de consenso en torno a las posibles fuentes de aguas grises provoca incertidumbre entre técnicos y ciudadanos, al no saber con certeza qué aguas se pueden considerar para su posterior regeneración y qué tipo de tratamiento usar para ello. Las definiciones propuestas para el término “aguas grises” en la literatura técnica y las legislaciones incluyen de forma unánime las aguas de bañeras, de duchas y de lavabos, pero divergen en la inclusión de las aguas de cocinas y de lavanderías. La producción media de agua gris en una vivienda representa en torno al 60% del agua residual generada. Por tanto, una depuración y regeneración adecuadas de las aguas grises pueden permitir la reutilización de unos caudales significativos de agua para riego de zonas agrícolas, de jardines o para suministro de cisternas de inodoro, con el consiguiente ahorro de recursos convencionales.

La reutilización de aguas grises requiere una normalización y una reglamentación en que se especifiquen, entre otros aspectos, los posibles usos del agua regenerada, los parámetros de calidad microbiológicos y físico-químicos requeridos para cada uso, así como la metodología, la frecuencia de muestreo y los criterios de cumplimiento de los análisis exigidos; todo ello para minimizar los posibles riesgos sanitarios y medioambientales que su práctica puede comportar. España no dispone de normativa específica para la reutilización de aguas grises, por lo que se ha adoptado como referencia el RD 1620/2007 relativo al régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

Una instalación de tratamiento como la estación regeneradora GREM fabricada por Remosa, empresa dedicada al sector de la regeneración del agua, permite depurar y regenerar las aguas residuales procedentes de bañeras, de duchas y de lavabos mediante una serie de procesos convencionales y producir un agua regenerada de calidad suficiente para satisfacer los límites más restrictivos del RD 1620/2007. Todo ello requiere un conjunto de instalaciones de alta fiabilidad, además de un régimen de mantenimiento y de explotación propios de un proceso de elaboración de un producto de calidad.

El coste de capital del metro cúbico de agua gris regenerada en un grupo de 60 viviendas del municipio de Victoria de Acentejo en Tenerife, mediante una estación GREM, se ha estimado en 1,11 €/m³, considerando: 1) una inversión de 11,10 €/m³-anual, 2) una vida útil de la estación regeneradora de 10 años y 3) un funcionamiento continuo y a pleno rendimiento de la estación. Esta cifra es del mismo orden de magnitud que los 0,77 – 0,89 €/m³ fijados en la tarifa vigente para consumo doméstico del municipio de Victoria de Acentejo, lo que permite considerar la reutilización de aguas grises como una alternativa viable para paliar los problemas de escasez de agua en una zona como ésta.

Palabras clave: Reutilización de agua, aguas grises, regeneración de agua, reglamentación aguas grises, calidad de aguas grises, calidad de aguas regeneradas, usos de aguas grises.

ABSTRACT

Greywater Reuse: A living home development in the town of Victoria Acentejo.

Author: M^a Teresa Ysún Barrio.

Tutor: Rafael Mujeriego Sahuquillo.

The climatic peculiarities of the island of Tenerife render the sustainable management of water resources a key element of their development. The pressure being exercised over conventional water sources has forced the search for alternative sources of water supply. This thesis analyzes the potential of reusing greywater generated in living homes for becoming a non-conventional source of water supply and thus offering an additional and alternative source of water that can alleviate water shortages.

The lack of consensus on possible sources of greywater creates uncertainty among technicians and citizens, not knowing for sure what water types can be considered for reclamation and what type of treatment can be used for reclamation. The definitions proposed for the term "gray water" in the technical literature and diverse legislations unanimously include water baths, showers and lavatories, but differ on the inclusion of water from kitchens and laundries. The average production of gray water in a living home represents about 60% of the wastewater generated. Therefore, an appropriate reclamation process and a greywater reuse system can provide a significant flow of reclaimed water to be reused for agricultural and landscape irrigation or for toilet supply, promoting conservation of conventional water resources.

Greywater reuse require standards and regulations that specify, among other things, the potential uses of reclaimed water, the microbiological and physico-chemical water quality parameters required for each use, as well as the methodology, the sampling frequency and the acceptance criteria for the required analysis, as to minimize the potential health and environmental risks that water reuse may entail. Although Spain has no specific regulations for greywater reuse, the RD 1620/2007 relative to the reuse of treated water has been adopted as a reference.

A water reclamation plant like the GREM process manufactured by Remosa, an equipment manufacturing company serving the water reclamation field, can treat and reclaim wastewater flows from bathtubs, showers and lavatories through a series of conventional processes to produce reclaimed water of sufficient quality to meet the most stringent limits of RD 1620/2007. This requires a set of highly reliable facilities and a maintenance and operation protocol adequate to a quality production process.

The capital cost for producing a cubic meter of reclaimed gray water in a group of 60 living houses in the town of Victoria Acentejo in Tenerife, using the GREM process, is estimated at 1,11 €/m³, considering: 1) an investment of 11,10 €/m³-year, 2) a useful life of the reclamation process of 10 years and 3) a continuous operation at design capacity of the reclamation process. This figure is of the same order of magnitude as the 0,77 to 0,89 €/m³ water rates currently applied for domestic supply in the municipality of Victoria Acentejo, and consequently renders greywater reuse as a viable alternative to mitigate water shortage problems in an areas like this.

Keywords: water reuse, greywater, water reclamation, greywater reclamation, greywater regulations, greywater quality, reclaimed water quality, greywater uses.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Rafael Mujeriego, tutor de esta tesina, por colaborar en la redacción de la memoria y por revisar todo el trabajo realizado. Muchas gracias por la preocupación que ha mostrado siempre para que este trabajo salga a delante.

A Araceli Reymundo Izard, por haberme facilitado el acceso al estudio previo para el desarrollo de los edificios de viviendas sostenibles en el municipio de Victoria de Acentejo. Su ayuda me ha servido de mucho para la realización de esta tesina.

A la empresa Remosa, porque siempre ha estado dispuesta a colaborar con nosotros, facilitándome la información de toda su amplia gama de productos.

A mis padres, por estar siempre a mi lado apoyándome en todo lo que he necesitado, porque sin ellos no hubiera conseguido llegar a donde estoy. Os quiero.

A mis amigos, por hacerme agradable la estancia en la Universidad durante estos duros años, por todos los momentos vividos juntos y que no olvidaré nunca.

A todos vosotros, muchas gracias,

Mayte

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2. OBJETIVOS	3
CAPÍTULO 3. AGUAS GRISES	5
3.1. Introducción.....	5
3.2. Reutilización aguas grises.....	5
3.3. Caudales de aguas grises	7
3.4. Composición de las aguas grises.....	10
3.5. Requerimientos sanitarios y ambientales	19
CAPÍTULO 4. PROCESOS REGENERACIÓN	33
4.1. Introducción.....	33
4.2. Medidas constructivas	33
4.3. Tratamientos disponibles	39
4.4. Sistema constructivo	44
4.5. Solicitud de autorización y controles de vigilancia.	48
4.6. Sistemas disponibles	51
CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR.....	63
5.1. Introducción.....	63
5.2. Lugar de estudio	63
5.3. Variables climatológicas.....	67

5.4. Características del agua	77
CAPÍTULO 6. PROPUESTA SELECCIONADA.....	83
6.1. Introducción.	83
6.2. Elección alternativa.....	83
6.3. Descripción detallada de la propuesta.....	84
6.4. Coste de la instalación propuesta	88
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.....	93
CAPÍTULO 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
ANEXO. CARACTERÍSTICAS AGUAS GRISES EN LA CIUDAD DE SÍDNEY	

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3. AGUAS GRISES

- Tabla.3.1. Consumo hídrico por sectores en la isla de Tenerife (Plan Hidrológico de Canarias; Servicio de Estadística. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación y elaboración propia).
- Tabla 3.2. Consumo L/hab-día. Manual de profesores. Campaña “Cada gota un tesoro”. (Consejo Insular de Aguas, 2005).
- Tabla 3.3. Calidad microbiológica de las aguas grises (Cranfield University, 2007).
- Tabla 3.4. Nutrientes resultantes de la reutilización de las aguas grises (NSW Guidelines, 2007).
- Tabla 3.5. Coeficientes de absorción de sodio (SAR) (NSW Guidelines, 2007).
- Tabla 3.6. Composición típica del agua gris (Jepperson and Solley, 1994).
- Tabla 3.7. Parámetros de calidad de las aguas urbanas (Cranfield University, 2007).
- Tabla 3.8. Limitaciones aplicación agua residual para su reutilización en riego (Life Lanzarote 2001-2004, 2004).
- Tabla 3.9. Reutilización planificada de agua en el Consorci de la Costa Brava, con un caudal total de 5,4 hm³ en 2004 (20% de un total de 28 hm³) (Mujeriego, 2006).
- Tabla 3.10. Reutilización planificada de agua en California, con un caudal total de 495 hm³/año en 2000 (330 hm³/año en 1987) (Mujeriego, 2006).
- Tabla 3.11. Calidad del agua regenerada para uso urbano (RD1620/2007).
- Tabla 3.12. Calidad del agua regenerada para uso agrícola (RD 1620/2007).
- Tabla 3.13. Calidad del agua regenerada para uso recreativo (RD 1620/2007).
- Tabla 3.14. Evaluación de la calidad de aguas regeneradas. Límites de desviación máxima. (RD 1620/2007).
- Tabla 3.15. Frecuencia mínima de muestreo y análisis de cada parámetro de las aguas regeneradas en España (RD 1620/2007).

Tabla 3.16. Calidad del agua regenerada para uso general (RD 1620/2007).

CAPÍTULO 4. PROCESOS REGENERACIÓN

Tabla 4.1. Separación mínima entre la red de aguas regeneradas y el resto de servicios (Grupo Tragsa, 2009).

Tabla 4.2. Características de los diferentes formatos de estación regeneradora GREM (Remosa, 2009).

Tabla 4.3. Características del afluente considerado para el diseño de la estación regeneradora GREM (Remosa, 2009).

Tabla 4.4. Características del agua regenerada mediante una estación GREM (Remosa, 2009).

Tabla 4.5. Características de una estación regeneradora ROXPLUS (Remosa, 2009).

Tabla 4.6. Características del depósito de seguridad (Remosa, 2009).

Tabla 4.7. Depósito de acumulación de aguas regeneradas (Remosa, 2009).

Tabla 4.8. Características del afluente consideradas para el diseño de la estación regeneradora ROXPLUS (Remosa, 2009).

Tabla 4.9. Características del agua obtenida mediante la estación de regeneración ROXPLUS (Remosa, 2009).

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

Tabla 5.1. Distribución de superficies de la parcela estudiada. Municipio de Victoria de Acentejo (Reymundo Izard, A., 2008).

Tabla 5.2. Temperaturas medias durante los diferentes meses del año en la estación meteorológica de la Orotava (MABICAN, 2008).

Tabla 5.3. Humedad media durante los diferentes meses del año en la estación meteorológica de la Orotava (MABICAN, 2008).

Tabla 5.4. Precipitación media de los diferentes meses del año en la estación meteorológica de la Orotava (MABICAN, 2008).

Tabla 5.5. Fuentes de agua y usos de la misma en la isla de Tenerife (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Tabla 5.6. Parámetros fisicoquímicos del agua subterránea de la isla de Tenerife en el año 2002 (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Tabla 5.7. Tarifa vigente en el municipio de Victoria de Acentejo (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

CAPÍTULO 6. PROPUESTA SELECCIONADA

Tabla 6.1. Unidades correspondientes a los distintos aparatos sanitarios (Documento Básico HS5, 2006).

Tabla 6.2. Unidades conectadas a los ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajantes (Documento Básico HS5, 2006).

Tabla 6.3. Diámetro de las bajantes según el número de alturas del edificio y el número de unidades (Documento Básico HS5, 2006).

Tabla 6.4. Diámetro de los colectores horizontales en función del número máximo de unidades y la pendiente adoptada (Documento Básico HS5, 2006).

Tabla 6.5. Coste medio de los sistemas de obtención de agua en la isla de Tenerife (C. Inés Ruiz de la Rosa).

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 3. AGUAS GRISES

- Figura 3.1. Recursos y consumo de agua en Canarias durante el año 2002 (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2002).
- Figura 3.2. Calidad microbiológica de las aguas urbanas (Cranfield University, 2007).
- Figura 3.3. Análisis comparativos de las tasas de descomposición de las aguas grises y las aguas residuales domésticas (Olson E. et al., 1967).

CAPÍTULO 4. PROCESOS REGENERACIÓN

- Figura 4.1. Requisitos de separación entre las redes de agua potable y las de agua regenerada o residual en el Estado de Florida (USEPA, 2004).
- Figura 4.2. Señal preventiva en la que se indica el uso de agua regenerada para riego (USEPA, 2004).
- Figura 4.3. Imagen de un sistema de riego por goteo (Grupo Tragsa, 2009).
- Figura 4.4. Imagen de un sistema de riego por aspersión (Grupo Tragsa, 2009).
- Figura.4.5. Relación entre el tamaño de poro de la filtración con membrana y el tamaño del material retenido (AWWA,1990).
- Figura 4.6. Sistema de desviación de aguas grises por gravedad (Vall L. Little)
- Figura 4.7. Inodoro tipo occidental de la marca TOTO.
- Figura 4.8. Esquema de una estación regeneradora GREM (Remosa, 2009).
- Figura 4.9. Vista frontal de la estación regeneradora GREM (Remosa, 2009).
- Figura 4.10. Vista lateral y detalles del relleno de la estación regeneradora GREM (Remosa, 2009).
- Figura 4.11. Esquema de una estación regeneradora ROXPLUS (Remosa, 2009).
- Figura 4.12. Proceso de tratamiento y calidad del agua regenerada obtenida con los dos sistemas de regeneración de aguas de Remosa (2009).

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

- Figura 5.1. Vista aérea de la parcela estudiada, en el municipio de Victoria de Acentejo.
- Figura 5.2. Plan General de ordenación Urbana del Municipio de Victoria de Acentejo (Reymndo Izard,A., 2008).
- Figura 5.3. Sección de la ubicación de los futuros edificios. Municipio de Victoria de Acentejo (Reymndo Izard,A., 2008).
- Figura 5.4. Localización de las estaciones con información sobre el confort térmico. (Manual de Arquitectura Bioclimática para Canarias (MABICAN), 2008).
- Figura. 5.5. Temperatura media anual en la isla de Tenerife (MABICAN, 2008).
- Figura 5.6. Variación absoluta de la temperatura entre agosto y enero en la isla de Tenerife (MABICAN, 2008).
- Figura.5.7. Mapa de isoyetas en la isla de Tenerife: pluviometría media del periodo 1986/87 -1992/93 (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).
- Figura 5.8. Evolución de la precipitación durante el periodo de 1921 a 2004 en la isla de Tenerife (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).
- Figura 5.9. Mapa de isolíneas de coeficiente de esorrentía en la isla de Tenerife. Periodo: 1986/87 -1992/93 (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).
- Figura 5.10. Mapa de isolíneas de recarga de lluvia en la isla de Tenerife. Media del periodo: 1986/87 -1992/93 (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).
- Figura 5.11. Aportes solares durante un día despejado (Reymndo Izard,A., 2008).
- Figura 5.12. Carta solar cilíndrica para una latitud como la de la isla de Tenerife (Reymndo Izard,A., 2008).
- Figura 5.13. Radiación solar en invierno (esquema izquierdo) y en verano (esquema derecho) sobre el bloque de viviendas en el municipio de Victoria de Acentejo (Reymndo Izard,A., 2008).
- Figura 5.14. Mapa de la red de control de calidad en las conducciones generales en la isla de Tenerife (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El agua es motor de desarrollo y fuente de riqueza, por lo que se considera fundamental para el progreso del ser humano. Un incremento de la demanda del agua, junto con el aumento de la contaminación, ligado a un mayor nivel de desarrollo progresivo y un aumento de la población humana, e incluso a ciclos naturales de sequía e inundaciones, en definitiva, lo que viene denominándose una sobreexplotación, han producido un deterioro importante de los recursos hídricos.

La captación de agua subterránea ha sido la práctica más habitual de obtención de agua en las islas Canarias hasta finales del siglo XX. La sobreexplotación de este recurso, según datos obtenidos del departamento de Ingeniería Química de la Universidad de La Laguna, ha hecho necesario el uso de otros métodos alternativos de obtención de agua, con el fin de gestionar de manera eficiente e integral los recursos hídricos.

El cambio en los planteamientos sobre la política de aguas es necesario, evolucionando desde la gestión de la cantidad de las demandas hacia una gestión integrada que contemple la calidad del recurso y la protección del mismo como garantía de un abastecimiento futuro y de un desarrollo sostenible.

La sociedad tiene cada vez más conciencia de la limitación relativa a la disponibilidad de agua en cantidad y de calidad suficientes, a pesar de ser un recurso renovable, aspecto que impulsa a los entes locales a adecuar los usos del agua a las disponibilidades existentes.

Estamos acostumbrados a satisfacer con agua potable todas nuestras necesidades, a pesar de que no es siempre necesario hacerlo así. Es preciso encontrar modos de usar el agua en menores cantidades, así como de conseguir que el agua utilizada adquiera la menor carga contaminante. Hay que apostar por las tecnologías de reutilización y desarrollar nuevas metodologías que mejoren su manejo y por tanto su disponibilidad. En consecuencia, apostar por la innovación en materia de conservación de agua se ha convertido en una de las principales metas estratégicas de las políticas de gestión del agua a medio y largo plazo.

Conservar agua puede interpretarse como la posibilidad de captar agua de lluvia en depósitos de almacenamiento bajo la superficie (aceras, aparcamientos, parterres o zonas verdes) para usos de limpieza viaria, de instalaciones y zonas públicas o para riego de parques y jardines.

El agua depurada se puede regenerar para su reutilización en procesos que demandan una calidad no potable. Esto supondría una reducción del uso del agua de los acuíferos para el riego, ahorrando así agua de calidad. De esta forma, se evita la sobrecarga de las depuradoras por aguas pluviales y los desbordamientos por aguas torrenciales.

Asimismo, es necesario aplicar nuevas técnicas de distribución del agua y de gestión de sus usos, así como de promoción del uso racional a través de los hábitos de consumo ya que, sin una colaboración ciudadana, los esfuerzos técnicos que se llevan a cabo resultarán insuficientes.

En resumen, la conservación del agua se centra en la optimización de su uso, lo que implica una política adecuada tanto en el abastecimiento como en la demanda de este valioso recurso. Los avances en la innovación tecnológica en el campo del agua requieren de una estrecha colaboración entre los organismos de gestión y los centros de investigación. Los primeros tienen la capacidad de detectar las necesidades concretas que podrían resolverse tecnológicamente y los segundos tienen la capacidad investigadora necesaria para abordar científicamente las soluciones demandadas.

Desde el punto de vista de la gestión de la demanda, la reutilización de aguas debe plantearse prioritariamente como una fuente sustitutoria de recursos de otras procedencias con mayor impacto ambiental o con mayor coste de obtención. Por ello, cabría que propiciar que el agua depurada (gris o residual) se utilice de forma prioritaria para sustitución de determinados usos que actualmente se realizan con agua potable procedente de aguas subterráneas o de desalación y que no requieren agua de alta calidad. Todo ello con el fin de liberar recursos para otros usos más exigentes y suavizar las curvas de crecimiento de las necesidades de producción. En este marco, las aguas grises pueden convertirse en un recurso de agua doméstico valorizable.

La adopción de cualquiera de estas medidas requerirá asegurar la garantía de cantidad y favorecer la calidad del agua. Sólo así podremos hablar de conservación del agua y de uso eficiente de la misma, permitiendo así, avanzar hacia un desarrollo sostenible.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La escasez cada día mayor de las reservas existentes de agua en España y más concretamente en las islas Canarias, han dado lugar al planteamiento de soluciones alternativas que puedan paliar el déficit de recursos. Entre esas alternativas viables aparece la reutilización de las aguas grises.

El objetivo principal de este estudio es evaluar las características, el volumen y las exigencias de las aguas grises obtenidas en un conjunto de viviendas sociales de alta sostenibilidad y eficiencia en el municipio de la Victoria de Acentejo (Tenerife). Una vez caracterizado el efluente, se fijará un tratamiento específico para dotar a estas aguas de una calidad suficiente para satisfacer ciertos usos, ahorrando así agua de calidad para otros usos más exigentes.

Los objetivos específicos de esta tesina son los siguientes:

1. Realizar una revisión bibliográfica de la información científica y técnica que nos permita concretar tanto el concepto de reutilización como el de aguas grises.
2. Valorar aproximadamente el volumen de aguas residuales generado en una vivienda así como la composición de las mismas.
3. Describir las reglamentaciones existentes sobre las condiciones básicas para la reutilización de las aguas.
4. Analizar los posibles usos del agua gris y definir los parámetros de calidad aplicables a cada uno de ellos, minimizando los posibles riesgos sanitarios y medioambientales que comportan.
5. Describir las normas que rigen el sistema de distribución del agua regenerada, el diseño y especificaciones de su construcción, las inspecciones y las operaciones de mantenimiento así como la dotación de personal necesario.
6. Determinar los posibles procesos de tratamientos a los que debe someterse un agua para obtener la calidad deseada, numerando las instalaciones necesarias para ello.
7. Describir el proceso administrativo necesario para conseguir la autorización tanto de instalación como de explotación de los sistemas de regeneración.
8. Proponer distintas alternativas para llevar a cabo la regeneración de las aguas grises, detallando las características de cada una de ellas.
9. Seleccionar la alternativa que mejor se adapte a las características de la parcela, al volumen de agua generado y al número de habitantes al que ofrecer el servicio.

CAPÍTULO 3

AGUAS GRISES

3.1. INTRODUCCIÓN

La aparición histórica de problemas de escasez de agua, tanto de tipo temporal como crónico, ha generado una atención en un recurso cercano, concentrado y cuya calidad es relativamente constante y conocida: el agua residual. Por otra parte, es sobradamente conocido que determinados vegetales regados con agua residual tienen un crecimiento excelente y una apariencia que permite su venta con buenos beneficios.

El agua residual doméstica se produce de una forma relativamente continua, es decir, se trata de una “fuente” teórica de agua con características de continuidad en el tiempo. En efecto, por consideraciones sanitarias y socio-políticas, los gestores tienden a asegurar el suministro urbano con prioridad a cualquier otro y en ocasiones excepcionales incluso sin reparar en costes.

Con el objeto de mejorar la tecnología utilizada en los diferentes ámbitos del consumo de agua y de ofrecer servicios más eficientes y de calidad al usuario, se han propuesto una serie de medidas complementarias para el ahorro y el uso eficiente de este recurso hídrico en la edificación. La innovación y la protección medioambiental deben ser uno de los principales distintivos de calidad. La reutilización de aguas residuales y en particular, de aguas grises reduce el consumo neto de agua y el caudal de agua residual que ha de conducirse para su depuración, así como los consumos personales y sociales.

3.2 REUTILIZACIÓN AGUAS GRISES

La reutilización de las aguas grises puede generar un recurso de agua doméstico valorizable a través del cual se desea alcanzar una serie de objetivos:

1. Disminuir el consumo de agua potable en aquellos usos que no requieran estándares de alta calidad.
2. Mejorar el uso eficiente de los recursos naturales e industriales disponibles.
3. Divulgar y promover la reutilización de las aguas grises, no sólo en las nuevas edificaciones sino también en las existentes.
4. Regular y optimizar el uso de las aguas grises.

Para entender y desarrollar bien estos conceptos debemos tener claros el significado de dos términos, “reutilizar” y “aguas grises”.

En la actualidad, se entiende por agua regenerada aquel agua residual que después de ser sometida a un proceso de tratamiento alcanza una calidad satisfactoria para un uso en particular (Asano, 1998). Es decir, el agua regenerada no es otra que “agua residual tratada” o “efluente tratado”, que satisface los criterios establecidos para poder ser usada nuevamente en un determinado aprovechamiento.

El desarrollo actual de la tecnología de regeneración permite obtener efluentes de agua regenerada de diversas calidades, incluso hasta un nivel tan alto como el del agua potable. La finalidad es conseguir un producto que sea adecuado para ser empleado en diferentes tipos de reutilización (industrial, agrícola, recreativo, municipal).

La “reutilización de agua” es la aplicación del agua residual o regenerada en un determinado aprovechamiento (Asano, 1991). La reutilización se puede dar de manera directa o indirecta. La reutilización “directa”, “planificada” (Asano, 1998) o “artificial” (Embid, 2000) requiere de la existencia de tuberías u otros medios de conducción para distribuir el agua regenerada que garantice el control de la propiedad del agua. Mientras que la reutilización “indirecta” (Asano, 1998) o “natural” (Embid, 2000) sucede cuando el vertido de un efluente, con o sin tratamiento, es vertido en una masa de agua que puede ser extraída aguas abajo.

No existe un consenso terminológico similar cuando tratamos de aclarar el concepto de “aguas grises”, cuya definición no es unánime y varía en función del país al que se haga referencia o incluso entre las propias autonomías o regiones.

La literatura contiene gran variedad de definiciones del término “aguas grises”. Algunas de ellas de carácter general: “Aguas ya utilizadas a excepción de las que tengan grasas o contenidos fecales” (Ordenanza Municipal para el ahorro de Agua, 2005) y otras más detalladas: “Aguas residuales domésticas sin tratar que no han entrado en contacto con residuos del inodoro. Incluye: el agua de bañeras, duchas, lavabos, y el agua de las lavadoras. No incluye: las aguas residuales procedentes del fregadero, lavaplatos, o lavandería” (California Graywater Standards, 1995). Otras definiciones halladas son:

1. “Aguas procedentes de bañeras, duchas y lavabos, así como las fracciones no grasientas de aguas de fregaderos, y las aguas del aclarado de lavavajillas y lavadoras” (Estevan A., 1996.).
2. “Aguas procedentes de lavadoras, lavaderos, duchas, lavabos y bañeras, no incluye agua procedente de las cocinas, aseos y bidets.” (NWS Guidelines, 2007).
3. “Aguas residuales domésticas sin tratamiento que no han entrado en contacto con los residuos del inodoro (aguas negras). Proviene de la bañera, la ducha, el lavabo, el fregadero, el lavavajillas, la lavadora” (Western Australia, 2005).
4. Los términos grey water, gray water, greywater, and graywater todos tienen el mismo significado: "aguas residuales domésticas no tratadas que no entran en contacto con los residuos del aseo y que incluyen las aguas residuales de bañeras, duchas, lavabos y lavadoras, pero que no incluyen las aguas residuales del fregadero de la cocina, del lavavajillas o del lavado de material sucio con restos de excrementos humanos"(Cranfield University, 2006).
5. “Aguas residuales domésticas procedentes de lavabos, bañeras, duchas y lavadoras, quedando excluidas las de lavaplatos, fregaderos e inodoros.”(Ordenanza de Gestión y Uso eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid, 2006).

Todas ellas coinciden en considerar como aguas grises aquellas procedentes de bañeras, duchas, lavabos pero divergen en el hecho de considerar o no las aguas originarias de cocina y lavandería.

Las aguas procedentes de la cocina pueden estar altamente contaminadas con partículas de alimentos, aceites, grasas y otros desechos. Estas aguas pueden contener también grandes concentraciones de microorganismos. En la mayoría de casos están contaminadas con

detergentes y otros agentes de limpieza, especialmente aquellas que vienen del lavaplatos, que tienen una alta dosis de alcalinidad; estos últimos pueden ser nocivos para el suelo y las plantas, alterando sus características a largo plazo.

Por otro lado, la calidad de las aguas provenientes de la lavandería se incrementa a medida que se aumentan los ciclos de enjuague. Las cargas de bacterias en estas aguas no son muy altas habitualmente, excepto cuando se lavan tejidos que contengan restos de excrementos humanos. Los contaminantes químicos presentes como el jabón, la sal, los sedimentos y las materias orgánicas son elementos que también afectan a su calidad. Si las aguas grises generadas por los ciclos de lavado son utilizadas para la irrigación de jardines, pueden afectar igualmente a las plantas y a los suelos, creando malos olores.

Por todas estas razones, las aguas grises originadas en la cocina y la lavandería son cuestionadas como posible fuente para la reutilización y dificultan la elaboración de una definición universal y unánime.

3.3. CAUDALES DE AGUAS GRISES

Las dotaciones de agua por habitante y día varían enormemente de un lugar a otro y están determinadas por factores como el número de ocupantes por vivienda, la edad de los individuos, el tipo de vida y el patrón de usos del agua. En la Península Ibérica, a excepción de Portugal, se pueden encontrar dotaciones netas que van desde los 100 L/hab-día hasta más de 350 L/hab-día (Proyecto AQUAMAC, 2005). En el archipiélago canario, la dotación varía de una isla a otra y también entre municipios. En el caso del municipio de Victoria de Acentejo se considera una dotación de 166 L/hab-día (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009). Consecuentemente la cantidad de agua residual generada en un domicilio también variará de forma similar.

La Figura 3.1 ilustra los recursos convencionales y el consumo de agua en Canarias referido al año 2002 (Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica. Universidad de La Laguna).

Tenerife, al igual que el resto de las islas del Archipiélago, es deficitaria en recursos de agua. En el año 2002, la demanda total de agua en la isla se estimó en unos 216 hm³/año, mientras los recursos convencionales (superficiales, subterráneos y manantiales) aportaban unos 200 hm³/año, de los cuales más del 90% procedía de las aguas subterráneas; el déficit (16 hm³/año) se cubría con recursos no convencionales (desalación y reutilización) (Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica. Universidad de La Laguna).

Tradicionalmente la agricultura había venido siendo la principal receptora de los recursos. Una sensible disminución de las superficies de cultivo y una acertada política en busca de la eficiencia del riego han dado lugar a que el consumo actual de agua en regadío se aproxime al consumo del abastecimiento humano (poblacional + turístico).

La demanda total se satisface por una oferta variada en la que apenas tiene relevancia el agua de escorrentía superficial; por otra parte, los recursos subterráneos obtenidos de pozos y galerías son todavía la principal referencia. El importante crecimiento demográfico experimentado en los últimos años en la isla ha dado lugar a que la demanda de agua para

consumo urbano haya crecido por encima de las previsiones. Se espera que esta demanda sectorial siga creciendo no solo en caudal (1,7 hm³/año) sino también porcentualmente en relación con la demanda total (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

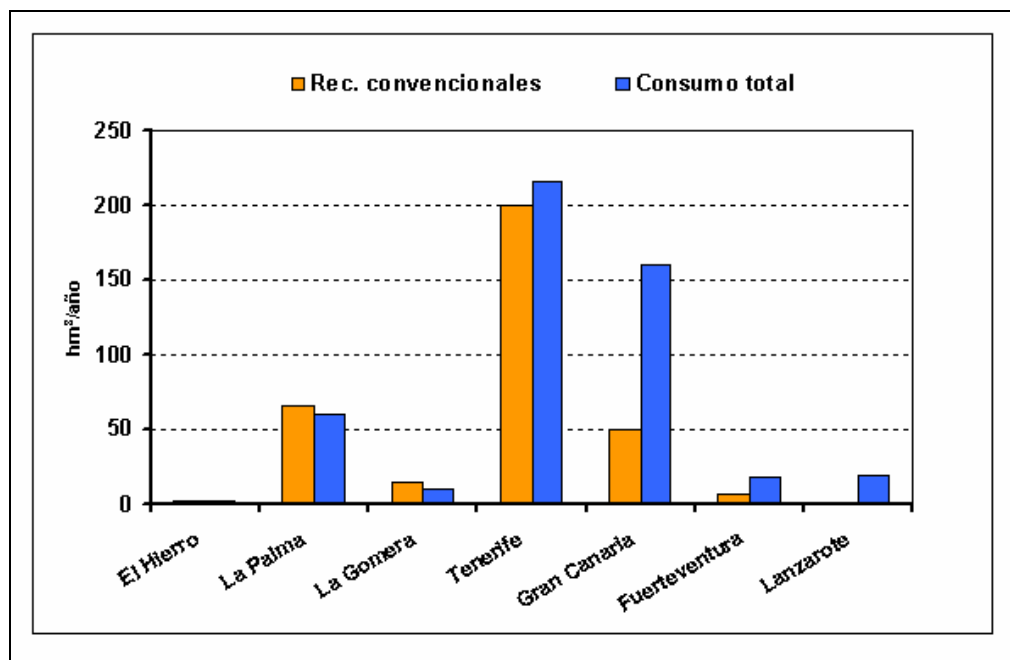


Figura 3.1. Recursos y consumo de agua en Canarias durante el año 2002 (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2002).

El consumo de agua por la agricultura seguirá creciendo (1,2 hm³/año), pero mantendrá su porcentaje de participación en el conjunto de la demanda (50,98%). El turismo tendrá un comportamiento similar al del sector agrícola, aunque con menor peso cuantitativo: 0,6 hm³/año de aumento y un ligero crecimiento de su porcentaje en la demanda total (11,2%). El consumo industrial, de baja representación porcentual en la isla (6,23%), también puede aumentar a razón de 0,4 hm³/año. Hasta el año 2012, la demanda total de recursos seguirá creciendo a razón de unos 3,5 hm³/año. (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

La Tabla 3.1 muestra el consumo de aguas en la isla de Tenerife por los diferentes sectores, indicando el porcentaje de cada uno de ellos respecto el consumo total (Plan Hidrológico de Canarias; Servicio de Estadística. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación y elaboración propia).

Tabla.3.1. Consumo hídrico por sectores en la isla de Tenerife (Plan Hidrológico de Canarias; Servicio de Estadística. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación y elaboración propia).

Superficie	Consumo unitario (m ³ /ha)	Consumo agrícola (hm ³)	%	Consumo urbano (hm ³)	%	Consumo turístico (hm ³)	%	Consumo industrial (hm ³)	%	Consumo total (hm ³)
10.460,4	9,225	96,5	50,98	59,70	31,54	21,30	11,25	11,80	6,23	189,30

El volumen total de recurso disponible para el conjunto de Tenerife ascenderá a más de 227 hm³/año, teniendo en cuenta las previsiones sobre la disminución de la capacidad de las extracciones de aguas subterráneas en el futuro, como consecuencia de la bajada del nivel freático en las zonas más explotadas en la actualidad, y los volúmenes que se aportarán mediante el desarrollo de sistemas de reutilización de aguas residuales y la desalación de agua de mar, (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Distribución del consumo doméstico

Tras conocer el consumo doméstico de agua en la isla de Tenerife es importante saber en qué actividades o hábitos se gasta más y así poder ahorrar, sin tener que renunciar al bienestar actual.

Las estimaciones realizadas por distintos organismos (“Informe sobre el consumo de agua en los hogares españoles”, Hansgrohe, 2007) indican que los principales consumos de agua por persona y día se distribuyen en las siguientes horquillas, en función de los hábitos de cada persona (duración de duchas, tiempo de apertura de grifos, agua utilizada en baños) y de la antigüedad y la tecnología de los equipos:

- 50-80 L en la ducha.
- 150-300 L por baño.
- 6-15 L para cada uso del inodoro.
- 50-200 L por cada colada en la lavadora.
- 18-150 L por cada uso del lavavajillas.

Más del 40% del consumo de agua en el hogar es debido al uso de la cisterna y el 65-70% del consumo total del hogar corresponde al cuarto de baño. Muchos modelos de cisternas antiguos utilizan más agua de la necesaria (10-15 L), cuando la normativa española fija la capacidad máxima en 9 L (norma UNE 67-001-88).

Una lavadora, dependiendo del modelo, consume aproximadamente 100 L de agua por lavado, y entre 1-2 kWh de energía, buena parte de esa energía se emplea en calentar el agua y no en el giro del tambor. Este consumo medio está calculado para un programa de algodón a 60°C. No obstante, el consumo de agua y la energía varía mucho de un programa a otro con una diferencia de consumo de agua de 20 a 50 L entre el programa de algodón a 90°C y el sintético a 40°C, junto con un incremento exponencial del consumo de energía de hasta 6 veces más de un programa a otro (Miliarium.com Ing. Civil y Medio Ambiente).

En cuanto al lavavajillas, cada ciclo completo utiliza entre 20 y 40 L de agua, dependiendo del modelo, con un consumo por cubierto que puede superar los 2 L. El consumo energético está en torno a los 2 kWh por lavado (Miliarium.com Ing. Civil y Medio Ambiente).

La Tabla 3.2 muestra el consumo doméstico de agua, por persona y día, estimado para Tenerife en función de los diferentes usos (Consejo Insular de Aguas, 2005).

El volumen de aguas grises generado en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife, según los datos presentados por el Dpto. de Ingeniería Mecánica, en el año 1995 y sólo considerando las aguas procedentes del lavabo, la ducha y la lavadora, suponía más del 60% de la dotación, lo que generaba un volumen de aproximadamente 74 L/hab-día. Para la

Península Ibérica, a excepción de Portugal, las aguas grises suponían un 55% de la dotación media y un volumen de 110 L/hab-día.

Tabla 3.2. Consumo L/hab-día. Manual de profesores. Campaña “Cada gota un tesoro”. (Consejo Insular de Aguas, 2005).

Usos Consumo	Litros (L)
Baño/ducha	59,7
Inodoro	44,8
Colada	33,2
Cocina	18,2
Limpieza	9,9
Total	166

Dependiendo del uso final de las aguas grises generadas, el volumen de agua potable ahorrado puede variar. Considerando únicamente la reutilización en la recarga de las cisternas de los inodoros, podemos considerar un ahorro potencial de cómo mínimo 20 L/hab-día.

La situación del balance hídrico no solo es variable por factores como el nivel de vida, la edad y el número de personas, sino que también influye el país en cuestión, las costumbres, la existencia de jardines o piscinas a mantener y sobre todo de la disposición y la capacidad de obtención del recurso.

Aunque el objetivo de este trabajo no incluye valorar el volumen de aguas grises generado en otros países, hemos incluido la descripción de un modelo diseñado para el cálculo del volumen de aguas grises generado en una vivienda y un breve resumen de las dotaciones de aguas grises en la ciudad de Sídney que permite mostrar la gran variación que existe referente a dotaciones de aguas. Todo ello se puede encontrar en el Anexo I.

3.4 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS GRISES

Las aguas urbanas, incluyendo las aguas residuales domésticas, las aguas grises y el agua de lluvia son todas ellas posibles fuentes de agua, que pueden ser reutilizadas en un esfuerzo por conservar los limitados recursos hídricos. Con ello se proporcionará agua no potable para el abastecimiento de usos, incluyendo la lavandería y el lavado, así como usos externos, como el riego, el lavado de vehículos y el riego de cultivos (USEPA, 2004). Esta regeneración y reutilización descentralizada del agua, con la participación de individuos y grupos de hogares, instituciones y locales comerciales, se considera una solución viable y sostenible para regiones con escasez de agua (Anderson, 1996; Tchobanoglous y Angelakis, 1996; Fane et al. 2002).

Sin embargo, la reutilización de aguas urbanas presenta un riesgo potencial de infección para los usuarios debido a la presencia de microorganismos patógenos. Por lo tanto, la adecuada desinfección de las aguas urbanas es un requisito esencial para minimizar el riesgo para la salud pública. El agua puede transmitir una variedad de bacterias, protozoos y virus patógenos y la infección puede producirse por inhalación, ingestión o contacto con el agua regenerada. Una de las principales vía de transmisión considerada es a través de la

generación de aerosoles durante la agitación del agua, que permite la circulación de microorganismos patógenos (Fannin et al., 1985; de Goldmann, 2000), facilitando su transmisión por inhalación y su transporte en superficie, que posteriormente pueda entrar en contacto con o ser ingeridas por un individuo (Beggs, 2003).

Estos patógenos oportunistas pueden causar una variedad de enfermedades, principalmente infecciones de las vías respiratorias y de la piel. También pueden causar enfermedades graves en las personas vulnerables, demostrando su prevalencia en las infecciones hospitalarias (Hardalo y Edberg, 1997; Wertheim et al. 2005).

A continuación se trata de definir la presencia, la frecuencia y la concentración de los agentes patógenos en las aguas grises así como la presencia de nutrientes, sales y partículas físico-químicas.

Calidad microbiológica

Para tratar de describir la microbiología de un agua conviene realizar la subdivisión en aguas grises "ligeras" y "concentradas", la primera consta de aguas del cuarto de baño, del lavabo, del baño y de la ducha, y la segunda incluye el agua de la cocina, el fregadero, el lavavajillas y el lavado.

La carga contaminante de las aguas grises se caracteriza por ser muy variable (Jefferson et al. 2004), pero es mucho mayor (Friedler, 2004) en el segundo caso. Para ilustrarlo, observamos que los valores de DQO van desde 100 a 645 mg/L y de 361 a 1815 mg/L respectivamente. Los indicadores bacterianos en aguas grises son también muy variables, con concentraciones de coliformes totales que oscilan entre 1,7 log/100mL (Rose et al., 1991, Dixon et al., 1999) hasta 8,8 log/100mL (Gerba et al., 1995).

La Tabla 3.3 muestra la composición microbiológica de las aguas grises (Cranfield University, 2007). Los coliformes fecales, el *E. coli* o los enterococos están presentes en casi todos los estudios y en todos los tipos de aguas grises, lo que demuestra que la contaminación fecal de las aguas no es una ocurrencia ocasional.

Existe un gran número de aspectos que influyen en la calidad del agua. La densidad de población es uno de ellos, que conlleva que el agua gris producida por una localidad más grande contribuya a diluir los patógenos, por lo que resulta en concentraciones más bajas y requiere la toma de muestras de mayor volumen para poder detectar los patógenos.

El nivel demográfico de la población también afecta a la calidad microbiológica. Los hogares con niños pequeños han demostrado producir aguas grises con niveles más altos de coliformes fecales y totales que los hogares sin hijos (Rose et al., 1991; Casanova et al., 2001a).

Otra cuestión importante es determinar si los agentes patógenos en el agua gris aumentan o disminuyen durante su almacenamiento. Según datos obtenidos de Rosa et al., (1991) y Dixon et al., (1999) los coliformes almacenados en el agua gris aumentan su concentración hasta 2 unidades logarítmicas al cabo de 24 ó 48 horas, lo que demuestra el impacto que el tiempo de almacenamiento puede tener en los indicadores bacterianos de las aguas grises.

Tabla 3.3. Calidad microbiológica de las aguas grises (Cranfield University, 2007).

Table 2.2. Indicator bacteria in different grey water streams.

Grey water source	Total coliforms (\log_{10} .100mL ⁻¹)	Faecal coliforms / Thermostable coliforms (\log_{10} .100mL ⁻¹)	Escherichia coli (\log_{10} .100mL ⁻¹)	Enterococci / Faecal Streptococci (\log_{10} .100mL ⁻¹)	Heterotrophic bacteria (\log_{10} .mL ⁻¹)	References
Wash Basin (WB)	4.7 – 5.8	1.5 – 3.5	3.8	>2.3	>5.5	Surendran and Wheatley (1998); Birks <i>et al.</i> (2004); Friedler (2004)
Shower (SH)	3.0 – 5.0	1.0 – 6.6	2.8 – 3.2	1.5 – 3.3	5.0 – 8.4	Rose <i>et al.</i> (1991); Nolde (1999); Friedler (2004); Jefferson <i>et al.</i> (2004)
Bath (BA)	1.7 – 4.4	6.6	1.9 – 4.3	1.0 – 1.6	ND	Dixon <i>et al.</i> (1999); Friedler (2004); Jefferson <i>et al.</i> (2004)
Light grey water - Mixed (WB, SH, or BA)	2.7 – 7.4	1.0 – 5.7	0.5 – 4.4	1.9 – 3.4	5.0 – 7.4	Christova-Boal <i>et al.</i> (1996); Surendran and Wheatley (1998); Nolde (1999); Casanova <i>et al.</i> (2001a); Eriksson <i>et al.</i> (2003); Jefferson <i>et al.</i> (2004); Friedler <i>et al.</i> (2005, 2006); Grant <i>et al.</i> (2006)
Laundry (LA)	1.7 – 5.8	1.4 – 6.6	ND	1.4 – 3.4	7.6 – 8.3	Rose <i>et al.</i> (1991); Christova-Boal <i>et al.</i> (1996); Surendran and Wheatley (1998); Dixon <i>et al.</i> (1999); Friedler (2004)
Kitchen sink (KS)	ND	6.1	ND	ND	ND	Friedler (2004)
Dishwasher (DW)	ND	4.8	ND	ND	ND	Friedler (2004)
Dark grey water - Mixed (WB, SH, BA, LA, KS, or DW)	7.2 – 8.8	4.9 – 7.9	2.0 – 6.0	2.4 – 4.6	ND	Gerba <i>et al.</i> (1995); Fittschen and Niemczynowicz (1997); Günther (2000); Casanova <i>et al.</i> (2001a, 2001b); Ottoson and Stenström (2003a); Dallas and Ho (2005); Gross <i>et al.</i> (2005)

Key: Greywater sources: BA=Bath, DW=Dishwasher, KS=Kitchen sink, LA=Laundry washing, SH=Shower, WB=Wash basin
 ND = no data

Calidad Físico – Química

La calidad físico – química de las aguas grises producidas en cualquier hogar es muy variable. Ello es debido a factores como la fuente de agua, la eficiencia del uso del agua de los aparatos y accesorios, los hábitos, los productos utilizados (por ejemplo, detergentes, champús y jabones) y otras características específicas del emplazamiento (NSW Guidelines, 2007). La cantidad de sal (sodio, calcio, magnesio, potasio y otros compuestos), de aceites, de grasas, de nutrientes y de productos químicos en las aguas grises pueden ser gestionados en gran medida mediante los tipos de productos utilizados en el hogar.

Nutrientes

El fósforo y el nitrógeno son nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Las aguas grises, contienen los nutrientes generados a partir del cuarto de baño y lavandería y pueden ser usadas como abono, proporcionando el fósforo y el nitrógeno necesarios para el jardín y césped.

La Tabla 3.4 muestra la cantidad estimada de nutrientes presentes a la hora de reutilizar aguas grises en un metro cuadrado durante un período de un año, en comparación con la cantidad de nutrientes aplicados por las dosis recomendadas por los fabricantes de abonos típicos de césped, durante ese mismo período de tiempo (NSW Guidelines, 2007).

Tabla 3.4. Nutrientes resultantes de la reutilización de las aguas grises (NSW Guidelines, 2007).

Nutrientes	Aguas grises del baño	Aguas grises del lavadero	Fertilizante
	(g/año-m ²)	(g/año-m ²)	(g/año/m ²)
Nitrógeno total (N)	3,22 – 24,0	0,7 – 48,0	17,6
Fósforo total (P)	0,08 – 2,16	0,04 – 50,4	11,3

Source: Based on the composition of five readily available lawn fertilisers – Brunnings, Hortico, Munns, Shirley's and Yates and greywater composition data from Christova – Boal et al. (1996).

Se deben evitar cargas excesivas de nutrientes se deben evitar para prevenir daños al suelo, a las plantas, a las aguas subterráneas y a los cursos de agua alejados. Sin embargo, las cargas de nutrientes que se aplican normalmente al suelo mediante el riego con aguas grises son similares a las que se aplican siguiendo las instrucciones de productos de abono común. La parte superior del intervalo puede ser gestionada mediante la selección de detergentes para ropa (y productos similares) que sean bajos en nitrógeno y fósforo. La reutilización de aguas grises, por lo tanto, tiene el potencial de reducir significativamente la necesidad de la aplicación de fertilizantes a los jardines y los céspedes. La aplicación de nutrientes a través del proceso de riego es preferible, debido a que los nutrientes aplicados se aportarán de manera más gradual, reduciendo el riesgo de que sean arrastrados durante los eventos de lluvia.

La variabilidad de la carga de nutrientes se ve influida por el uso de diferentes detergentes de lavado, productos de higiene personal (jabones y champús) y agentes de limpieza. La cantidad de nutrientes de los productos utilizados en el hogar tiene una relación directa con la porción que aparece en las aguas grises. La gestión del tipo y la dosis de detergentes y de productos de higiene personal y limpieza utilizados permite reducir la cantidad de nutrientes de las aguas grises (NSW Guidelines, 2007).

Sales

Las sales contenidas en las aguas grises proceden de los detergentes de lavado y se encuentran comúnmente en forma de sodio, magnesio y compuestos de calcio (Patterson, 2006).

La aplicación de aguas grises al suelo introduce cantidades de sales, muchas de las cuales no pueden ser eliminadas de la zona radicular en condiciones normales de lluvia. Los aumentos de la concentración de sales en el suelo dependerán de la combinación única del tipo de sustrato, la composición y el drenaje de las aguas grises (Patterson, 2006).

Los principales riesgos de las sales presentes en las aguas grises son su acumulación en la estructura del suelo, dando lugar a una pérdida de espesor del terreno y de permeabilidad (capacidad de absorción de agua) que puede causar la degradación de la vegetación. La gran solubilidad de las sales de sodio, mucho más solubles que las de calcio o magnesio, es la causante de la sodicidad del suelo (la degradación del suelo debido a las sales de sodio) que acentúa los problemas (Patterson, 2006). El método más eficaz para reducir el riesgo de las sales en los suelos y la vegetación es restringir la cantidad de sales vertidas. En general, los detergentes en polvo contienen más sales que los detergentes líquidos de lavado (NSW Guidelines, 2007).

La Tabla 3.5 muestra los intervalos de oscilación del coeficiente de adsorción de sodio (SAR) de las aguas grises en función del uso de detergentes utilizados (NSW Guideline, 2007):

Tabla 3.5. Coeficientes de absorción de sodio (SAR) (NSW Guidelines, 2007).

Tipo de agua gris	Coeficiente de adsorción de sodio (SAR)		
	Mínimo	Medio	Máximo
Lavadero (detergente en polvo)	1,2	9,2	52,1
Lavadero (detergente líquido)	0,02	1	4

El coeficiente de adsorción de sodio (SAR) mide la relación entre la concentración de sodio y la de los cationes calcio y magnesio en el agua. Las aguas con un SAR de más de 6 elevan el riesgo de causar degradación del suelo, mientras que un SAR de menos de 3 puede reducir el riesgo (NSW Guidelines, 2007).

La tabla 3.6 muestra una recopilación de los valores de ciertos parámetros característicos de la composición media de las aguas grises, según datos obtenidos por Jepperson and Solley (1994).

Tabla 3.6. Composición típica del agua gris (Jepperson and Solley, 1994).

Parámetro	Unidades	Rango	Media
Sólidos en suspensión	mg/L	45 – 330	115
Turbiedad	NTU	22 – >200	100
DBO5	mg/L	90 – 290	160
Nitrito	mg/L	<0,1 – 0,8	0,3
Amoniaco	mg/L	<1,0 – 25,4	5,3
nitrógeno Kjeldahl	mg/L	2,1 – 31,5	12
fósforo	mg/L	0,6 – 27,3	8
sulfato	mg/L	7,9 – 110	35
pH		6,6 – 8,7	7,5
Conductividad	mS/cm	325 –1140	600
Dureza (Ca, Mg)	mg/L	15 – 55	45
sodio	mg/L	29 – 230	70

Comparación con aguas residuales domésticas y agua de lluvia

Las aguas grises no son la única fuente de agua que puede ser reutilizada en un esfuerzo por conservar los recursos hídricos, sino que se puede considerar también el uso de aguas de lluvia y de aguas residuales domésticas.

1. Agua de lluvia

La recogida y la reutilización del agua de lluvia es una práctica común en todo el mundo y puede utilizarse como una fuente de agua potable en algunas zonas (Lye, 1992; Simmons et al., 2001). La calidad del agua de lluvia es generalmente mejor que la de las aguas grises, con valores de DBO5 inferiores a 3,7 mg/L, aunque con niveles de sólidos en suspensión y de turbidez relativamente altos, hasta 153 mg/L y 56 UNT, respectivamente. El agua de lluvia se caracteriza principalmente por ser un agua de tipo “blanda” (bajo contenido en carbonato cálcico), con una dureza prácticamente nula. Además la cantidad de sólidos disueltos es muy baja (Cranfield University, 2007).

La Tabla 3.7 recoge los valores de diversos parámetros de calidad característicos de los diferentes tipos de aguas generadas en un ambiente urbano ofreciendo un punto de referencia para su comparación (Cranfield University, 2007).

A medida que el agua de lluvia desciende, va disolviendo el CO₂ presente en la atmósfera y por lo tanto se vuelve ligeramente ácida (pH 5,6), valores que pueden corregirse añadiendo pequeñas cantidades de cal. Esta calidad es función de la localidad y puede verse alterada en zonas industrializadas, debido a las emisiones atmosféricas. Una vez que el agua de lluvia entra en contacto con la superficie del sistema de recolección, arrastra gran cantidad de partículas y microorganismos (bacterias y hongos) que llegan al tanque de almacenamiento.

Tabla 3.7. Parámetros de calidad de las aguas urbanas (Cranfield University, 2007).

Table 2.1. Water quality of urban waters.						
Water quality parameter	Grey water (light)	Grey water (dark)	Rain water	Black water	Untreated wastewater	Treated wastewater
BOD (mg.L ⁻¹)	59 - 424	48 - 890	1.4 - 3.7	-	110 - 350	10 - 30
COD (mg.L ⁻¹)	100 - 645	361 - 1815	-	1094	250 - 800	-
TOC (mg.L ⁻¹)	40 - 120	84 - 582	-	-	-	-
TSS (mg.L ⁻¹)	30 - 303	35 - 625	1 - 153	548	120 - 400	<1 - 30
Ammonia (mg.L ⁻¹)	<0.1 - 15.0	<0.1 - 4.6	0.01 - 0.1	23	12 - 25	-
Turbidity (NTU)	23 - 240	103 - 148	0.6 - 56	-	-	1 - 30
pH	6.4 - 8.1	5.2 - 10.0	6.4 - 8.3	-	-	-

El uso final que se desee dar al agua determinará el tipo de tratamiento que se deberá realizar. Si el agua se utiliza con fines domésticos y/o alimentarios se debería someter a un exhaustivo sistema de filtrado y desinfección (potabilización). Si el uso final es el riego o unos usos interiores que no requieran aguas potables (como es el caso de aguas de limpieza o inodoros) no será necesario realizar un tratamiento tan estricto (Cranfield University, 2007).

2. Agua residual doméstica

Las aguas residuales domésticas se caracterizan por tener un promedio de DQO (demanda química de oxígeno) y SST (sólidos en suspensión totales) de 1100 y 550 mg/L, respectivamente (Almeida et al., 1999). Los datos sobre los indicadores específicos de tipo bacteriano y de agentes patógenos en las muestras de aguas residuales domésticas son escasos, pero los microorganismos en las aguas residuales urbanas brutas pueden ser una buena indicación del potencial de la calidad microbiológica de las aguas residuales domésticas. Las aguas residuales urbanas brutas están generalmente diluidas con agua de escorrentía urbana, sin embargo, cabe esperar que las aguas residuales domésticas estén más contaminadas, en términos de microorganismos patógenos así como de otros parámetros de calidad. Los datos de la literatura sobre las aguas residuales brutas indican que el agua contiene sistemáticamente altas concentraciones de bacterias indicadoras, así como de bacterias entéricas específicas y de patógenos oportunistas.

La Figura 3.2 ilustra la calidad microbiológica de las distintas fuentes de agua urbana. Conviene destacar que a pesar de las reducciones significativas en los parámetros de calidad del agua, las aguas residuales tratadas pueden mantener altos niveles de bacterias indicadoras. Por ejemplo, las concentraciones totales de coliformes en aguas residuales tratadas oscilan entre 2,6 a 7,6 log/100mL y los indicadores fecales, el *E. coli* y los enterococos, entre 1,7 a 5,7 log/100mL (Cranfield University, 2007).

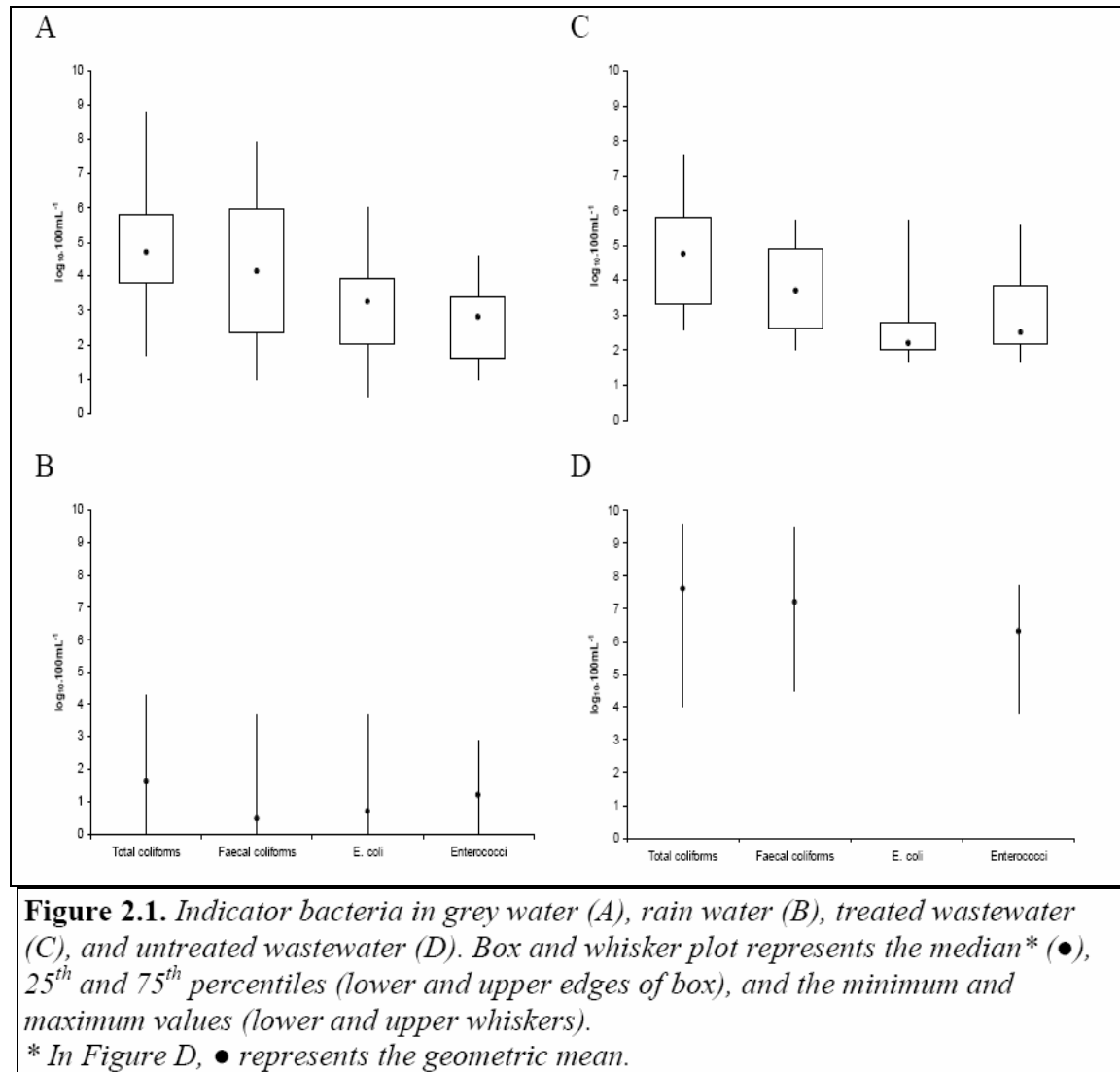


Figura 3.2. Calidad microbiológica de las aguas urbanas (Cranfield University, 2007).

Quizás la diferencia más significativa entre aguas residuales domésticas y grises reside en la tasa de descomposición tan diferente de los contaminantes en cada uno de los casos. Para valorar el efecto de la materia oxidable sobre la cantidad de oxígeno del agua con el tiempo, deben construirse las curvas de DBO. La constante k ilustra la velocidad a la que se realiza la oxidación bioquímica de la materia orgánica; unos valores pequeños de k indican una descomposición lenta. La Figura 3.3 muestra las tasas de descomposición de las aguas grises y de las aguas residuales domésticas mediante la construcción de sus respectivas curvas DBO (Olson E. et al., 1967).

La Figura 3.3 muestra que las aguas grises se descomponen mucho más rápido que las residuales domésticas, debido a que el oxígeno existente es utilizado únicamente para la oxidación de la materia orgánica y no para otras reacciones como la nitrificación. Esto significa que la mineralización de las aguas residuales domésticas continuará consumiendo oxígeno mucho más allá de lo que lo harán las aguas grises.

Las diferencias tan importantes entre las tasas de descomposición de aguas grises y residuales domésticas son evidentes en términos de sus impactos relativos sobre el agua subterránea y la posible contaminación de estas.

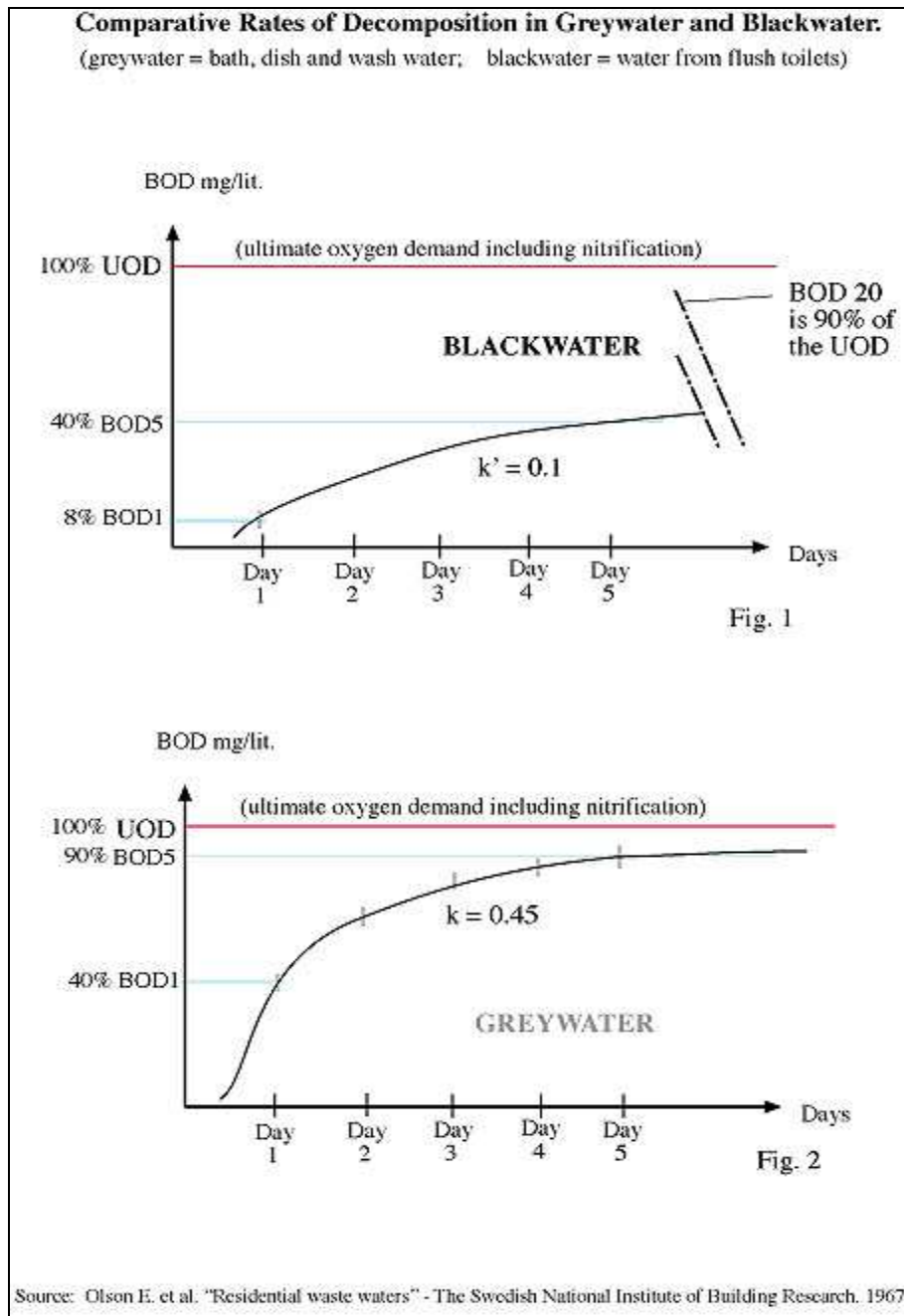


Figura 3.3. Análisis comparativo de las tasas de descomposición de las aguas grises y las aguas residuales domésticas (Olson E. et al., 1967).

Así pues, las notables diferencias entre las aguas grises y las residuales domésticas hacen que sea lógico separarlas y tratarlas individualmente por el bien de la protección de la salud y como ahorro significativo. Sin embargo, hay que señalar que si las aguas grises se dejan sin tratar por unos días se comportarán como aguas residuales. Ambas desarrollarán malos olores (al generarse un ambiente anaeróbico) y ambas contendrán gran número de bacterias.

3.5. REQUERIMIENTOS SANITARIOS Y AMBIENTALES

Las autoridades sanitarias contemplaban con recelo hasta hace unos años la difusión de los sistemas de aguas grises. Algunas de las ciudades pioneras en los programas de conservación fueron promulgando a finales de los años ochenta ordenanzas reguladoras del uso de aguas grises en sus respectivos municipios. La ordenanza 1319 (90) de la ciudad de Lompoc (California), por ejemplo, autoriza el uso de aguas grises procedentes de lavadoras, bañeras, duchas y lavabos para el riego de árboles (incluidos frutales), matorrales y arbustos ornamentales, pero no para el riego de césped ni de hortalizas (USEPA, 1995).

Ante la proliferación de ordenanzas municipales, algunos gobiernos se vieron obligados a autorizar y regular el uso de aguas grises, en condiciones similares a las descritas en el párrafo anterior. Poco antes, se habían realizado test de funcionamiento, comprobando que no se producían riesgos sanitarios. La contribución de las aguas grises a la proliferación de coliformes en el suelo resultaba insignificante comparada, por ejemplo, con las defecaciones de animales domésticos o pájaros, y todos los tests de Salmonella, Shigella y Entamoeba en los suelos regados con aguas grises resultaron negativos. La aceptación oficial impulsó considerablemente la difusión de los sistemas de aguas grises augurando un gran futuro a los sistemas de reutilización, no sólo en viviendas unifamiliares, sino también en instalaciones de mayor consumo, como hoteles, residencias e instalaciones deportivas (Life Lanzarote 2001-2004, 2004).

La reutilización de las aguas grises requiere su normalización y regularización disponiendo de una normativa en la que se especifique, entre otros aspectos, los posibles usos del agua y se definan los parámetros de calidad para cada uno, minimizando los posibles riesgos sanitarios y medioambientales de su práctica.

Para que la reutilización sea segura desde el punto de vista sanitario y ambiental, es imprescindible que el agua se depure hasta alcanzar las características de calidad apropiadas a su nuevo uso. El agua ha de cumplir unos determinados requisitos microbiológicos y físico-químicos, siendo estos más exigentes para aquellas actividades que supongan un contacto directo con los seres humanos o animales.

El marco sanitario de la reutilización es, posiblemente, el que plantea más polémica a nivel mundial. En este sentido, podemos mencionar dos tipos de orientaciones de la calidad microbiológica del agua depurada (Life Lanzarote 2001-2004, 2004):

1. La de la Organización Mundial de la Salud, que utiliza estudios epidemiológicos a la hora de establecer sus recomendaciones, y que establece criterios menos restrictivos que los utilizados en muchos países industrializados.
2. La de muchos países desarrollados, con un nivel analítico elevado que permiten constatar una incertidumbre en los métodos de control. Estos países tratan de minimizar el riesgo biológico (debido a virus y parásitos) y, por tanto, utilizan criterios muy restrictivos, exigiendo un nivel determinado de eliminación de microorganismos por los procesos de tratamiento, adecuados al tipo de uso y modo de utilización por parte del consumidor.

En general, los riesgos sanitarios que la reutilización de aguas puede ocasionar requieren de medidas protectoras de salud. Estas medidas pueden ser: 1) disponer de procesos de

tratamiento de depuración adecuados de las aguas, 2) utilizar métodos correctos de aplicación del agua, 3) minimizar el grado de exposición humana y 4) restringir los cultivos o zonas a regar.

Normativa española

En España, no existe aún normativa específica sobre aguas grises a nivel nacional. Sin embargo, el RD 1620/2007 establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, determinando las calidades mínimas para la reutilización según los diferentes tipos de uso, así como la metodología, la frecuencia de muestreo y los criterios de cumplimiento de los análisis exigidos. Pese a que dicho decreto no hace ninguna mención a las aguas grises, es el que se aplica actualmente para estos usos a excepción de ciertas comunidades, como Andalucía, Cataluña, Madrid y Baleares que han establecido ordenanzas propias referentes a los criterios de reutilización de aguas grises pero siempre haciendo referencia a dicho decreto, en lo que a requerimientos de calidad se refiere.

La calidad del agua depurada va a depender, en gran parte, de la calidad del agua de abastecimiento público, del tipo de residuos que son vertidos durante su uso y del grado de tratamiento que recibe. En general, si el agua de abastecimiento utilizada por un municipio es de calidad aceptable para el riego, el agua doméstica tratada también lo será, aunque su calidad se haya deteriorado en parte. Los parámetros analíticos más importantes son la salinidad, el sodio, los micronutrientes, el cloro residual y los nutrientes. Estos parámetros han de ser evaluados periódicamente y de forma cautelar con el fin de evitar efectos negativos que puedan producirse a largo plazo, tanto sobre el suelo como sobre las plantas (Life Lanzarote 2001-2004, 2004).

1. Salinidad

La salinidad es el parámetro más importante para determinar la aptitud de un agua para el riego y representa la cantidad y el tipo de sales disueltas en ella. La conductividad eléctrica (CE) de un agua se utiliza como una medida indirecta de su concentración de sólidos disueltos totales (SDT).

Cuanto mayor sea la salinidad del suelo en la zona cercana a las raíces, mayor será la energía que necesita la planta para alimentarse, y por tanto, dispone de menor energía para el crecimiento. Tanto en las instalaciones de riego por goteo, donde la posibilidad de acumulación de sales en el suelo es mayor, como en el riego por aspersión, es preciso mantener la conductividad del agua por debajo de unos determinados límites para evitar dañar las instalaciones y la vegetación asociada a dichos sistemas de riego (Life Lanzarote 2001-2004, 2004).

2. Toxicidad

Los elementos más perjudiciales para las plantas suelen ser el boro, el cloruro y el sodio, generando daños directos en ellas. Los daños por exceso de cloruros se manifiestan en forma de quemaduras y clorosis en las puntas y bordes de las hojas.

El boro es necesario en concentraciones pequeñas y un aumento de su concentración hace que se pase con facilidad a condiciones de toxicidad, ya que el margen entre niveles normales y tóxicos es muy estrecho. Este hecho es especialmente importante en cultivos

sensibles al boro. La Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (1992) recomienda una concentración máxima de boro de 0,75 mg / L para su uso a largo plazo.

El sodio, además de ocasionar daños similares a los de los cloruros y provocar desequilibrios nutricionales que afectan a la asimilación del calcio y el potasio, es el principal responsable de la pérdida de estructura de un suelo por hinchamiento y dispersión de las arcillas, reduciendo la velocidad de infiltración del agua en el terreno, y disminuyendo su capacidad de aireación (Life Lanzarote 2001-2004, 2004).

Por otro lado, el calcio, junto con la materia orgánica y complementariamente el magnesio, es el principal elemento formador de la estructura de un suelo, contrarrestando por tanto el efecto del sodio. La tasa de adsorción de sodio (TAS) es un parámetro que relaciona estos tres cationes para tratar de cuantificar el fenómeno de la degradación de la estructura (Life Lanzarote 2001-2004, 2004).

El agua de baja salinidad disuelve y arrastra el calcio, por lo que un agua de salinidad elevada contrarresta, parcialmente, los posibles efectos derivados de valores altos de TAS. Todo ello hace que los valores de TAS y de CE deban estudiarse conjuntamente.

3. Microelementos

Con el término de microelementos se designa a un grupo de elementos químicos completamente diferentes entre sí y presentes en el medio ambiente a bajas concentraciones. Hay que tener en cuenta que los sistemas de tratamiento de aguas grises domésticas se diseñan principalmente para tratar la materia orgánica presente y no especialmente para tratar muchos compuestos químicos.

Entre los integrantes de este grupo cabe destacar elementos como el flúor, el silicio, el vanadio, el cromo, el manganeso, el hierro, el cobalto, el níquel, el cobre, el zinc, el selenio y otros. Concentraciones ligeramente superiores a las necesarias puede tener efectos tóxicos para las plantas y los animales. Existen por último ciertos elementos químicos, como el plomo y el mercurio, entre otros, para los que se desconoce su efecto en plantas, pero que debido a su toxicidad elevada se les considera siempre como biológicamente peligrosos (Life Lanzarote 2001-2004, 2004).

El aporte incontrolado de microelementos al suelo es una práctica no deseable ya que, una vez acumulados en él, es prácticamente imposible eliminarlos en la mayoría de los casos. Una acumulación progresiva de microelementos en los suelos puede dar lugar con posterioridad a:

1. Efectos tóxicos sobre las plantas cultivadas.
2. La absorción de ciertos elementos por parte de los cultivos, haciendo que su concentración en los tejidos vegetales alcancen límites peligrosos para el consumo humano o animal.
3. El arrastre de estos microelementos hasta las aguas subterráneas o superficiales, haciéndolas inadecuadas para su uso.

4. Nutrientes

Entre los elementos nutritivos de mayor importancia para la gestión agrícola cabe destacar el nitrógeno (N) y el fósforo (P). El nitrógeno contenido en el agua residual depurada es

del mismo orden que el contenido en los fertilizantes agrícolas (Life Lanzarote 2001-2004, 2004). Aunque este aporte es beneficioso, no coincide siempre en el tiempo con las necesidades de los cultivos. Los aportes necesarios son mayores en los primeros estadios vegetativos, y dejan progresivamente de serlo cuando se inicia la maduración. Para solventarlo es necesario efectuar prácticas de riego y fertilización adecuadas. El exceso de nitrógeno, además de ser perjudicial para las plantas, aumenta la lixiviación (liberación al medio) de nitratos y la contaminación de las aguas subterráneas.

El nivel de fósforo aportado por las aguas residuales depuradas es inferior al de nitrógeno pero tiene el inconveniente de que se acumula gradualmente en el suelo, disminuyendo así la necesidad de aportes complementarios en el futuro (Westcot y Ayers, 1.990).

Conviene utilizar únicamente los productos con nulo o muy bajo contenido de fósforo. El contenido de fósforo de las aguas residuales y grises puede variar desde valores bajos de 0,05% hasta un 10% dependiendo del tipo de detergente utilizado. En países como Australia facilitan información (www.lanfaxlabs.com.au) a cerca de los niveles de fósforo de los productos de lavandería comunes. El símbolo NP se utiliza para identificar los productos que no tienen ningún agregado de fósforo, aunque esto permite la existencia de niveles por debajo del 0,5%. El símbolo P indica que "el producto cumple con los estándares de la industria de acuerdo sobre el fósforo, que imponen un contenido máximo de 7,8 gramos por lavado". Un contenido de fósforo de 7,8 gramos por lavado es equivalente a una concentración en el promedio de carga de lavado de 50 mg /L (Patterson, 1999). Todo ello hace que sea importante el control de las aportaciones de fósforo al terreno, pues un exceso puede producir desequilibrios entre las concentraciones adecuadas de microelementos.

5. Otros parámetros

La presencia de sólidos en suspensión en el agua de riego puede dar lugar al desarrollo de depósitos de fango, provocando problemas de permeabilidad del suelo, así como obturaciones en los sistemas de filtración y de riego.

El pH del agua influye en el pH del suelo y por tanto en la disponibilidad de nutrientes, aspecto éste que no suele dar problemas al estar, normalmente, su valor por debajo de 8,5.

El cloro es el principal biocida utilizado en la desinfección de las aguas residuales depuradas, normalmente se añade como gas o bien en forma de hipoclorito sódico, hipoclorito cálcico y dióxido de cloro. A pesar de este efecto beneficioso, un exceso de cloro tiene un efecto de quemado sobre las hojas similar al del sodio en riegos por aspersión.

La Tabla 3.8 muestra un resumen general sobre las limitaciones de la aplicación del agua residual depurada para su reutilización, atendiendo a los diversos parámetros analíticos (Life Lanzarote 2001-2004, 2004).

Tabla 3.8 Limitaciones aplicación agua residual para su reutilización en riego (Life Lanzarote 2001-2004, 2004).

Tabla 1: Criterios para la interpretación de la calidad del agua para riego				
		Grado de restricción en el uso		
Problema potencial		Ninguno	Ligero a Moderado	Severo
Salinidad				
CE ($\mu\text{S/cm}$)		< 700	700 - 3000	> 3000
SDT (mg/l)		< 450	450 - 2000	> 2000
Permeabilidad *				
		CE		
	0 - 3	$\geq 0,7$	0,7 - 0,2	< 0,2
	3 - 6	$\geq 1,2$	1,2 - 0,3	< 0,3
	6 - 12	$\geq 1,9$	1,9 - 0,5	< 0,5
	12 - 20	$\geq 2,9$	2,9 - 1,3	< 1,3
	20 - 40	$\geq 5,0$	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxicidad de iones específicos				
Sodio				
Riego superficial (TAS)		< 3	3 - 9	> 9
Riego por aspersión (mg/l)		< 70	> 70	
Cloruros				
Riego superficial (mg/l)		< 140	140 - 350	> 350
Riego por aspersión (mg/l)		< 100	> 100	
Boro (mg/l)		< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Efectos diversos				
Nitrógeno total (mg/l)**		< 5	5 - 30	> 30
pH		El intervalo normal es de 6,5 - 8,4		
(Desde el punto de vista de posibles problemas de obstrucción en sistemas de riego localizado)		< 7	7 - 8	> 8
Bicarbonatos (mg/l)				
Riego por aspersión		< 90	90 - 500	> 500
Cloro residual (mg/l)				
Riego por aspersión		< 1,0	1,0 - 5,0	> 5,0

Adaptado del Manual práctico de riego con agua municipal depurada (Wescot y Ayers, 1990)

Adaptado del Manual práctico de riego con agua municipal depurada
(Wesoot y Ayers, 1990)

En definitiva, el uso racional del agua consiste en emplear aguas de diversa procedencia adaptándolas en función del uso y calidad que precisen. Los usos que pueden darse a las aguas residuales depuradas en su reutilización según el RD 1620/2007 son los siguientes:

1. Usos urbanos: riego de jardines y zonas verdes urbanas, baldeo de calles, sistemas contra incendios, descarga de aparatos sanitarios, limpieza de interiores, exteriores y herramientas.
2. Usos agrícolas: riego de pastos para consumo de animales, riego de cultivos de flores ornamentales, viveros e invernaderos, riego de cultivos leñosos, riego de cultivos industriales no alimentarios y cultivos agrícolas destinados al consumo directo alimenticio humano y animal.
3. Usos industriales: aguas de proceso y limpieza, excepto en la industria alimentaria, torres de refrigeración y condensadores evaporativos, uso de aguas en plantas de producción de energía.
4. Usos recreativos: riego de campos de golf, estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.

5. Usos ambientales: recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno, recarga de acuíferos por inyección directa, riego de bosques y zonas verdes, mantenimiento de humedales y caudales mínimos.

La reutilización agrícola y de jardinería constituye el aprovechamiento más extendido del agua regenerada, tanto para cultivo hortícola (consumo directo) como para cultivos con procesamiento posterior, cereales, cítricos y viñedos, y tanto mediante riego por aspersión, microaspersión y goteo como por riego por inundación (Mujeriego, 2006).

Hasta el momento, los proyectos de regeneración para usos no potables han adquirido un gran desarrollo en numerosas partes del mundo, donde han alcanzado unas excelentes cotas de fiabilidad y de aceptación por parte de los usuarios y del público en general. Esto es especialmente aplicable en países desarrollados, donde los recursos hídricos son limitados y la protección ambiental es una prioridad destacada.

Las Tablas 3.9 y 3.10 resumen los porcentajes de reutilización de agua regenerada en zonas tan dispares como el Consorci de la Costa Brava, en Girona, y el estado de California, en los EEUU. Como se puede observar en estas tablas, los caudales de agua regenerada anualmente son importantes. Aunque los porcentajes de reutilización en el ámbito de todo el estado de California se sitúan en torno al 10%, los porcentajes en el ámbito regional llegan a superar el 30%, especialmente en las zonas áridas del sur de California (Mujeriego, 2006).

Tabla 3.9 Reutilización planificada de agua en el Consorci de la Costa Brava, con un caudal total de 5,4 hm³ en 2004 (20% de un total de 28 hm³) (Mujeriego, 2006).

Tipo de uso	%
Recarga de acuíferos	55
Usos ambientales	25
Riego campos de golf y jardinería	13
Riego agrícola	5
Riegos internos y urbanos no potables	2

Tabla 3.10 Reutilización planificada de agua en California, con un caudal total de 495 hm³/año en 2000 (330 hm³/año en 1987) (Mujeriego, 2006).

Tipo de uso	%
Riego agrícola	48
Riego de jardinería y ornamental les	20
Recarga de acuíferos	12
Restauración de habitats	6
Reutilización industrial	5
Lagos recreativos	4
Barreras contra la intrusión	3
Otros usos	2

Aplicación concreta a nuestro lugar de estudio

La calidad requerida para los usos urbanos, agrícolas y recreativos a los que está previsto destinar las aguas grises de las nuevas viviendas del municipio de Victoria de Acentejo está reflejada en el RD 1620/2007 vigente en España.

Los límites establecidos en los reglamentos de diferentes estados americanos (Arizona, California, Florida, Hawái, Nevada, Texas y Washington) y recopilados en la normativa americana de reutilización de agua (USEPA, 2004) también van a ser considerados ya que nos pueden servir de ayuda al disponer de mayor experiencia en el ámbito de la reutilización.

A continuación se clasifican los posibles usos del agua gris según su aplicación:

1. Uso urbano

Los posibles usos del agua regenerada con fines municipales se clasifican en función del grado de exposición al que se somete el público. Entre los posibles destinos encontramos: riego de zonas verdes de acceso público (jardines, parques, campos deportivos) o acceso privadas, baldeo de calles y sistemas contra incendios.

La Tabla 3.11 muestra los valores máximos admisibles de calidad que deben cumplir las aguas regeneradas para destinarse a usos urbanos ya sean de carácter privado o público (RD 1620/2007). Los parámetros a tener en cuenta son la presencia de microorganismos, sólidos en suspensión y turbidez.

En Estados Unidos, la clasificación se realiza en función de si el uso urbano presenta o no restricciones al público (USEPA, 2004).

Uso urbano sin restricciones al público

1. Los límites de DBO oscilan entre 5 mg/L hasta 30 mg/L. Texas exige que no exceda de 5 mg/L (media mensual) mientras que Nevada eleva el margen hasta 30 mg/L.
2. El límite de SST varía de 5 mg/L hasta 30 mg/L. Florida requiere un límite de SST de 5,0 mg/L antes de la desinfección y Washington exige que este no supere los 30 mg/L.
3. El promedio de coliformes totales y fecales va desde no detectables hasta 20 colonias/100 mL. Florida requiere que el 75% de las muestras de coliformes fecales en un período de 30 días esté por debajo de niveles detectables, con ninguna muestra de más de 25 colonias/100 mL, mientras que Texas requiere que el contenido de coliformes fecales de todas las muestras sea inferior a 75 colonias/100 mL.
4. En general, los límites de turbidez oscilan entre 2 y 5 UNT.

Uso urbano con restricciones al público

1. Los límites de DBO oscilan en promedio entre 20 mg/L y 30 mg/L. Florida y Texas exigen que no exceda de 20 mg/L, mientras que Nevada y Washington requieren que sea inferior a 30 mg/L.

- Los límites de SST varían de 5 mg/L a 30 mg/L. Florida requiere que no excedan de 5 mg/L, mientras que Washington exige que no superen los 30 mg/L.
- El promedio de coliformes fecales va desde no detectables a 200 colonias/100 mL. Florida pide que el 75% de las muestras de coliformes fecales en un período de 30 días este por debajo de niveles detectables, con ninguna muestra de más de 25 colonias/100 mL. Arizona y Texas mientras, exigen que ninguna muestra de coliformes fecales exceda el límite de 800 colonias/100 mL.

Tabla 3.11 Calidad del agua regenerada para uso urbano (RD1620/2007).

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
1.- USOS URBANOS					
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL ² a) Riego de jardines privados. ³ b) Descarga de aparatos sanitarios. ³	1 huevo/10 L	0 (UFC ⁴ /100 mL)	10 mg/L	2 UNT ⁵	OTROS CONTAMINANTES ⁶ contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas ⁷ deberá asegurarse el respeto de las NCAs. ⁸ <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). ⁹ b) Baldeo de calles. ⁹ c) Sistemas contra incendios. ⁹ d) Lavado industrial de vehículos. ⁹	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	

2. Usos agrícolas

Los posibles usos del agua regenerada con fines agrícolas se clasifican en función del tipo y el grado de exposición al que se verá sometido el cultivo. Entre los posibles destinos encontramos: cultivos de invernadero, riego de cultivos para consumo en crudo, para consumo de animales productores de leche o carne, destinados a industrias conserveras y productos que no se consuman crudos, para cultivos industriales, viveros, forrajes ensilados, cereales, semillas oleaginosas o riego de bosques, industria maderera, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público.

La Tabla 3.12 muestran los requisitos que debe cumplir el agua regenerada para su uso en riego agrícola (RD 1620/2007, 2007).

Tabla 3.12. Calidad del agua regenerada para uso agrícola (RD 1620/2007).

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
2.- USOS AGRÍCOLAS¹					
CALIDAD 2.1 ² a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.	1 huevo/10 L	100 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases ³ con los siguientes valores: n = 10 m = 100 UFC/100 mL M = 1.000 UFC/100 mL c = 3	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella spp.</i> 1.000 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización) Es obligatorio llevar a cabo la detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=1.000

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
CALIDAD 2.2 a) Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior. b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne. c) Acuicultura.	1 huevo/10 L	1.000 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases ¹ con los siguientes valores: n = 10 m = 1.000 UFC/100 mL M = 10.000 UFC/100 mL c = 3	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Taenia saginata</i> y <i>Taenia solium</i> : 1 huevo/L (si se riegan pastos para consumo de animales productores de carne) Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia (<i>Salmonella</i> , etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000
CALIDAD 2.3 a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana. b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones. c) Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.	1 huevo/10 L	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L

En Estados Unidos, la clasificación viene definida dependiendo de que el agua regenerada vaya a ser destinada a cultivos para el consumo humano o no (USEPA, 2004).

Uso agrícola para consumo humano

1. Los límites de DBO varían entre 5 mg/L y 30 mg/L. Texas requiere un promedio mensual de 5 mg/L en el agua regenerada usada para el riego de cultivos alimentarios, los cuales no podrán ser regados con spray si van a consumirse crudos; sólo es aceptable el tipo de riego que evite el contacto con agua regenerada. Florida requiere que el promedio anual de CBOD no exceda 20 mg/L después de un tratamiento secundario con filtración y desinfección de alto nivel, mientras que Texas requiere que la DBO no sea superior a 30 mg/L (media mensual), cuando el agua regenerada es tratada mediante un sistema de lagunaje y se utiliza para el riego de cultivos alimentarios.
2. Los límites de SST varían entre 5 mg/L y 30 mg/L. Florida requiere que los SST no excedan 5,0 mg/L, mientras Washington exige que los SST no excedan 30 mg/L (media mensual). En Florida, no está permitido el contacto directo (spray) del agua de riego con los cultivos comestibles que no sean pelados, cocidos o procesados térmicamente antes de su consumo, excepto para el tabaco y los cítricos. En cambio, los métodos de riego indirectos (surco, por goteo y sistema de aplicación del subsuelo) se pueden utilizar sobre cualquier tipo de cultivo comestible. California por contra, permite el contacto directo del agua de riego con la porción comestible del cultivo.
3. El promedio total de coliformes fecales varía entre no detectables y 200 colonias/100 mL. Arizona no requiere la detección de coliformes fecales. Florida requiere que el 75% de las muestras de coliformes fecales durante un período de 30 días tengan un nivel no detectable y que ninguna muestra tenga más de 25 colonias/100 mL. Nevada por contra, establece un máximo de coliformes fecales de 400 colonias/100 mL.
4. Los límites de turbidez varían entre 2 y 10 UNT. Por ejemplo, California requiere que la turbidez no exceda de 2 UNT durante un período de 24 horas, no exceda de 5 UNT en más del 5% del tiempo, y no exceda de un máximo de 10 UNT en

cualquier momento, a partir del punto en que el agua haya sido sometida a un proceso de coagulación. También requiere que la turbidez no sea superior a 0,2 UNT en más del 5% del tiempo y no exceda de un máximo de 0,5 UNT a partir del punto en que ha sido sometida a un proceso de filtración con membrana.

Uso agrícola para consumo no humano

1. Los límites de DBO varían entre 5 mg/L y 30 mg/L. Texas exige que no exceda de 5 mg/L (media mensual). Florida requiere que el promedio anual CBOD no exceda de 20 mg/L tras un tratamiento secundario y de desinfección básico. Nevada y Washington exigen que no sobrepase de 30 mg/L como promedio mensual.
2. Los límites de SST varían entre 20 mg/L y 30 mg/L. Florida requiere que el promedio anual de SST no supere los 20 mg/L mientras que Washington exige una media mensual de 30 mg/l.
3. El promedio de coliformes fecales y totales varía entre 2,2 NMP/100 mL en Hawai a 200 colonias/100 ml para Arizona y Florida.
4. En este momento, Hawaii, Texas y Washington son los únicos estados que exigen límites sobre la turbiedad de las aguas regeneradas utilizadas para la reutilización agrícola de los cultivos no alimentarios. Washington exige que la turbidez media no exceda de 2 UNT y de 5 UNT en cualquier momento. Texas requiere un límite de 3 UNT mientras que Hawai exige que la turbidez no exceda de 5 UNT durante más de 15 minutos y nunca supere 10 NTU.

3. Uso recreativo

Los posibles usos del agua regenerada con fines recreativos, al igual que los de uso urbano, se clasifican en función del grado de exposición al que se ve sometido el público. La Tabla 3.13 muestra los valores máximos admisibles que debe cumplir el agua para su posible uso recreativo (RD 1620/2007). Estados Unidos también considera el mismo tipo de subdivisión, variando lo requisitos dependiendo del estado de la unión en el que nos fijemos (USEPA, 2004).

Tabla 3.13. Calidad del agua regenerada para uso recreativo (RD 1620/2007).

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
4.- USOS RECREATIVOS					
CALIDAD 4.1¹ a) Riego de campos de golf.	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Si el riego se aplica directamente a la zona del suelo (goteo, microaspersión) se fijan los criterios del grupo de Calidad 2.3 <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 4.2 a) Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.	No se fija límite	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. P _T : 2 mg P/L (en agua estancada)

Uso recreativo sin restricciones al público

1. Los límites de DBO varían entre 5 mg/L y 30 mg/L. Texas exige que no exceda 5 mg/L como promedio mensual, mientras que Washington exige que la DBO no sea superior a 30 mg/L.
2. Washington es el único estado que establece un límite máximo de SST de 30 mg/L, como promedio mensual.
3. Todos los estados, con excepción de Texas, requieren que la media de coliformes totales no sea superior a 2,2 NMP/100 mL, con ninguna muestra superior a 23 NMP/100 mL. Texas requiere que la media de coliformes fecales no exceda de 20 NMP/100 mL y que ninguna muestra sea superior a 75 NMP/100 mL.
4. Los límites de turbidez en general oscilan entre 2 y 5 UNT.

Uso recreativo con restricciones al público

1. Nevada, Texas y Washington han establecido límites de DBO entre 20 mg/L y 30 mg/L como media mensual.
2. Washington ha fijado un límite de SST de 30 mg/L como media mensual.
3. Arizona no requiere la detección de coliformes. California, Hawai, Nevada y Washington exigen que la media de coliformes totales no sea superior a 2,2 NMP/100 mL.
4. Los límites de turbidez especificados en Arizona, Hawai, y Washington se sitúan entre 2 UNT y 5 UNT.

Otro aspecto a considerar es que la calidad del agua debe ser constante, lo que implica realizar controles específicos sobre ciertos parámetros con una cierta periodicidad para asegurar su debido cumplimiento. Los requisitos de control de agua regenerada varían notablemente de un estado a otro y de nuevo dependen del tipo de uso que se pretende realizar.

La calidad de las aguas regeneradas se considerará adecuada si en los controles analíticos de un trimestre o fracción, cuando el periodo de explotación sea inferior, cumple simultáneamente:

1. El 90% de las muestras tenga resultados inferiores a los VMA en todos los parámetros especificados.
2. Las muestras que superen el VMA no sobrepasen los límites de desviación máxima establecidos a continuación.
3. Para las sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las Normas de Calidad Ambiental en el punto de entrega de las aguas regeneradas, según la legislación propia de aplicación.

La Tabla 3.14 muestra los valores máximos admisibles para cada uno de los parámetros de calidad a tener en cuenta para un uso adecuado del agua.

Tabla 3.14 Evaluación de la calidad de aguas regeneradas. Límites de desviación máxima. (RD 1620/2007).

Parámetros	Límite de desviación máxima*
Nematodos intestinales	100% del VMA
Escherichia coli	1 unidad logarítmica
Legionella spp	1 unidad logarítmica
Taenia saginata	100% del VMA
Taenia solium	100% del VMA
Sólidos en suspensión	50% del VMA
Turbidez	100% del VMA
Nitratos	50% del VMA
Nitrógeno Total	50% del VMA
Fósforo Total	50% del VMA

*Se entiende por desviación máxima la diferencia entre el valor medido y el VMA.

La calidad de las aguas regeneradas en España, de acuerdo con lo que establece el RD 1620/2007, se valorará mediante el análisis de muestras tomadas a la salida de la planta de regeneración y en todos los puntos de entrega al usuario con las frecuencias mínimas previstas, las cuales únicamente serán modificadas en los siguientes supuestos:

1. Tras 1 año de control se podrá presentar una solicitud motivada para reducir la frecuencia de análisis hasta un 50%, para aquellos parámetros que no sea probable su presencia en las aguas.
2. Si el número de muestras con concentración inferior al VMA es inferior al 90% de las muestras durante controles de un trimestre (o fracción, en caso de periodos de explotación inferiores), se duplicará la frecuencia de muestreo para el periodo siguiente.
3. Si el resultado de un control supera al menos en uno de los parámetros los rangos de desviación máxima establecidos en el Anexo I.C, la frecuencia de control del parámetro que supere los rangos de desviación se duplicará durante el resto de este período y el siguiente.

La Tabla 3.15 muestra las frecuencias mínimas de muestreo y análisis de los diferentes parámetros de calidad que deben cumplir las aguas regeneradas para su futuro uso. Dependiendo del uso también nos especifica la periodicidad con la que tomar las muestras para analizar otros posibles criterios.

La principal preocupación por la que se realizan esta serie de controles es evitar el uso impropio o involuntario de agua regenerada. Para proteger la salud pública, un sistema de distribución de agua regenerada debe ir acompañado de códigos de salud, procedimientos para la aprobación (y desconexión) del servicio, normas que rijan el diseño y especificaciones para su construcción, su inspección y operación y su mantenimiento.

Tabla 3.15 Frecuencia mínima de muestreo y análisis de cada parámetro de las aguas regeneradas en España (RD 1620/2007).

USO	CALIDAD	NEMATODOS INTESTINALES	<i>ESCHERICHIA COLI</i>	SS	TURBIDEZ	Nt y Pt	OTROS CONTAMINANTES	OTROS CRITERIOS
1.- USO URBANO	1.1 y 1.2	Quincenal	2 veces semana	Semanal	2 veces semana	----	El Organismo de cuenca valorará la frecuencia de análisis sobre la base de la autorización de vertido y del tratamiento de regeneración.	Mensual
2.- USO AGRARIO	2.1	Quincenal	Semanal	Semanal	Semanal	----		Mensual
	2.2	Quincenal	Semanal	Semanal	----	----		Quincenal
	2.3	Quincenal	Semanal	Semanal	----	----		----
3.- USO INDUSTRIAL	3.1	----	Semanal	Semanal	Semanal	----		Mensual
	3.2	Semanal	3 veces semana	Diaria	Diaria	----		<i>Legionella spp.</i> 3 veces semana
4.- USO RECREATIVO	4.1	Quincenal	2 veces semana	Semanal	2 veces semana	----		----
	4.2	----	Semanal	Semanal	----	Mensual		----
5.- USO AMBIENTAL	5.1	----	2 veces semana	Semanal	----	Semanal		----
	5.2	Semanal	3 veces semana	Diaria	Diaria	Semanal		Semanal
	5.3	----	----	Semanal	----	----		----
	5.4							Frecuencia igual al uso más similar

En resumen, los niveles de calidad que es necesario aplicar a la reutilización de las aguas grises en España, vienen definidos en el RD 1620/2007. La Tabla 3.16 muestra los límites de calidad establecidos que permiten un uso general del agua regenerada (RD 1620/2007).

Tabla 3.16. Calidad del agua regenerada para uso general (RD 1620/2007).

Nematodos intestinales	Escherichia coli	Sólidos en suspensión	Turbidez	DBO5
1huevo/10L	0 UFC/100mL	10 mg/L	2 UNT	30 mg/L

CAPÍTULO 4

PROCESOS REGENERACIÓN

4.1 INTRODUCCIÓN

Como ya hemos comentado en los capítulos previos, el agua es uno de nuestros recursos más preciados. Reciclar el agua que usamos no sólo es ecológico, también nos asegura una mayor autonomía en el caso de llegar a existir escasez de este recurso.

La depuración de las aguas residuales domésticas, mediante tratamientos adecuados, permite reducir la presencia de agentes microbiológicos patógenos y de sustancias químicas nocivas. Sin embargo, esta reducción requiere un conjunto de sistemas e instalaciones dotados de una alta fiabilidad, tanto en su explotación como en su mantenimiento.

Entre las exigencias relativas a la fiabilidad del proceso de regeneración cabe destacar la adopción de controles continuos de determinados parámetros, la instalación de alarmas y automatismos, la disponibilidad de piezas de recambio, la duplicidad de equipos y procesos, la existencia de equipos de entrada en funcionamiento automático en caso de avería y la existencia de volúmenes de reserva de reactivos, especialmente de desinfectante

Fruto de las múltiples investigaciones por parte del departamento de I+D+i de diversas empresas, se han lanzado al mercado sistemas para la regeneración de aguas grises cuyo uso está siendo muy demandado por viviendas unifamiliares, comunidades de vecinos, instalaciones deportivas como campos de fútbol o piscinas, hoteles y universidades.

4.2 MEDIDAS CONSTRUCTIVAS

En general, los riesgos sanitarios que la reutilización de aguas residuales puede ocasionar requieren medidas correctoras para proteger la salud pública. Las medidas de protección que deben abordarse en la fase de planificación son las siguientes:

1. Establecer la protección de la salud pública como una prioridad esencial.
2. Elaborar procedimientos y reglamentos para prevenir las conexiones cruzadas.
3. Desarrollar un sistema uniforme para marcar todos los componentes no potables del sistema.
4. Impedir el uso de agua no potable a través de un programa proactivo de información pública.
5. Proporcionar un seguimiento sistemático y una vigilancia de los sistemas no potables.
6. Establecer y entrenar a los miembros del personal especial encargado de las operaciones de mantenimiento, de inspección, de aprobación y de reutilización de las conexiones.
7. Desarrollar normas de diseño y construcción.
8. Prever la separación física del agua potable, del agua regenerada y de los conductos de alcantarillado y sus accesorios.

9. Instalar dispositivos anti-retorno.
10. Exigir determinados horarios de riego y de tipos de aspersores.
11. Prohibir la instalación de grifos exteriores, y
12. Utilizar tamaños de conducción y bocas de conexión de mangueras, diferentes a los utilizados para las aguas de abastecimiento público.

Los métodos de aplicación de estas medidas se resumen a continuación:

1. Identificación de Tuberías y accesorios.

Todos los componentes y accesorios de los sistemas no potables, es decir, las tuberías, las bombas, los puntos de venta y las cajas de válvulas deben estar claramente identificados y ser coherentes en todo el sistema. La identificación se realizará mediante los métodos comúnmente utilizados de marcado y etiquetado.

Para un uso correcto de la instalación se han de cumplir las especificaciones que se citan a continuación y que han sido extraídas mayoritariamente de la Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid (2006) siendo complementada con información adicional:

1. Las tuberías y accesorios se fabricarán en color violeta (PANTONE 2577U ó RAL 4001) al igual que los aspersores. Otro método de identificación consiste en el marcado del tubo con una cinta adhesiva de vinilo que debe ser colocada en la parte superior de la tubería para los diámetros de 2,5 a 3 pulgadas (6 a 8 cm) o a lo largo de los lados opuestos de la tubería para los diámetros de 6 a 16 pulgadas (15 a 40 cm), y, a lo largo de ambos lados y en la parte superior de la tubería para los diámetros de 20 pulgadas (51 cm) o mayor (AWWA, 1994). Las palabras ("PRECAUCIÓN: aguas regeneradas - NO BEBER") deben ser iguales al diámetro de la tubería y colocadas longitudinalmente en intervalos de 3-pies (0.9 metros) (USEPA, 2004).
2. Las tuberías a instalar en redes de agua regenerada pueden ser de polietileno o de polipropileno. La razón más importante por la cual no se escoge PVC es su posible toxicidad, factor que no afecta en la red de aguas residuales domésticas. Para el agua fría sanitaria, el ACS, las aguas grises y las aguas depuradas el material elegido es el polipropileno.
3. El material de los elementos compactos de la depuración y el almacenamiento es un factor más que queda condicionado por la disponibilidad, en cada caso, del sistema o diseño idóneo. Como se ha indicado, tanto el PEHD como el PRFV son soluciones excelentes en estos casos (Grupo Tragsa, 2009).
4. Todas las válvulas, grifos y cabezales de aspersión deberán estar marcados adecuadamente, con objeto de advertir al público que el agua no es potable, debiendo ser de un tipo que sólo permita su utilización por el personal autorizado.
5. Las tuberías y las tapas de las arquetas tendrán una leyenda fácilmente legible "AGUA REGENERADA. AGUA NO POTABLE".
6. Deberá existir un archivo actualizado de planos y especificaciones de las distintas tuberías existentes en la zona de utilización, siendo responsables de su contenido los firmantes de los proyectos y de los certificados finales de obra, en el caso de que lo construido no se ajustara al contenido de dichos planos.
7. Se utilizarán aspersores de tipo emergente bajo el efecto de la presión, que permanecen tapados a nivel del suelo cuando estén fuera de servicio.

8. Las fuentes de agua potable deberán estar protegidas de los aerosoles de agua regenerada que puedan caer directamente o por acción del viento.
9. Cualquier zona frecuentada por el público deberá disponer de un número adecuado de fuentes de agua potable. En estas zonas, los puntos de suministro de agua regenerada estarán dotados de dispositivos de cierre que eviten el libre acceso del público a la misma.
10. Todos los elementos de las instalaciones de agua regenerada deberán ser inspeccionados regularmente, a fin de cumplir las exigencias del Real Decreto 865/03 sobre criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
11. Los aerosoles generados por los aspersores no podrán alcanzar de forma permanente a los trabajadores, ni las vías de comunicación asfaltadas o las áreas habitadas, estableciendo obstáculos o pantallas que limiten su propagación cuando ello sea necesario. Los aspersores a utilizar serán de corto alcance o baja presión.
12. El diseño de los puntos de carga de agua regenerada para el uso de los servicios municipales deberán cumplir las exigencias que en cada momento marque el órgano ambiental competente.

2. Separación horizontal y vertical entre tuberías de distintos servicios.

La regla general indica que se debe mantener una distancia horizontal de 10 pies (3 metros) y un intervalo vertical de 1 pie (0.3 metros) entre la tubería de agua potable y la de agua regenerada, siendo las dos líneas paralelas entre sí. Cuando estas distancias no se pueden mantener, se requerirá una autorización especial, aunque es generalmente obligatorio un mínimo de separación lateral de 4 pies (1,2 metros) (San Petersburgo). El Estado de Florida especifica una distancia de 5 pies (1,5 metros) de separación entre líneas de agua regenerada y el resto de redes, con un mínimo de 3 pies (0,9 metros) de separación de pared a pared de la tubería (FDEP, 1999). El agua potable, si es posible, debe ser colocada por encima de las no potables, que se situarán a 3 pies (0,9 m) por debajo del suelo (USEPA, 2004).

La Figura 4.1 ilustra los requisitos de separación entre las redes de agua potable y las de agua regenerada o residual en el estado de Florida (USEPA, 2004).

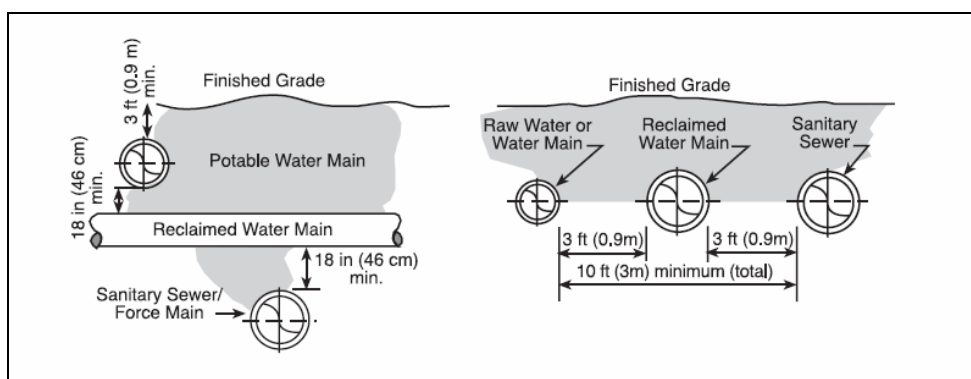


Figura 4.1 Requisitos de separación entre las redes de agua potable y las de agua regenerada o residual en el Estado de Florida (USEPA, 2004).

El agua regenerada también debe mantener una cierta separación con el resto de redes de servicio (Grupo Tragsa, 2009). La Tabla 4.1 muestra la separación mínima tanto en planta como en alzado que debe mantener con el resto de servicios públicos.

Tabla 4.1 Separación mínima entre la red de aguas regeneradas y el resto de servicios (Grupo Tragsa, 2009).

Servicio	Separación (CM)	
	Planta	Alzado
Abastecimiento	150	30
Saneamiento	100	20
Gas	50	50
Electricidad - Alta	30	30
Electricidad - Baja	20	20
Comunicaciones	30	30

3. Acometidas a la red principal de distribución de agua regenerada.

Las acometidas a la red principal de distribución de agua regenerada sólo se realizarán en los puntos autorizados por el órgano ambiental competente (Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid, 2006). Los usuarios realizarán a su costa las obras necesarias para acometer a la red principal y que de forma general consistirán en:

1. Obra de toma con estación de bombeo si fuese necesario.
2. Conducción necesaria hasta su parcela.
3. Arqueta de llegada con estación de control de calidad y cantidad de agua, previa a la entrada a la parcela.
4. Depósito de regulación, con capacidad mínima de almacenamiento del consumo del día medio del mes de máxima demanda, en su parcela.
5. Instrumentación y válvulas necesarias para el llenado del depósito de regulación.
6. Aplicaciones informáticas y sistema de transmisión de datos de la cantidad y la calidad del agua y del estado del depósito y el bombeo al equipo de recepción de la red principal de distribución de agua regenerada, en un sistema compatible con ésta.

4. Normas de uso del agua regenerada.

Los usuarios de agua regenerada deben de respetar una serie de normas que aseguren que se está realizando un uso adecuado de la misma con total garantía para la salud pública y que son:

1. El público y usuarios serán informados, mediante carteles indicativos, de que se está utilizando agua regenerada no potable para el riego. La señalización utilizada actualmente en estados como California y Florida transmiten una percepción muy positiva y cotidiana de la reutilización, mediante anuncios tales como “Este sistema de riego utiliza agua regenerada, con objeto de ahorrar agua” (USEPA, 2004). La Figura 4.2 muestra un ejemplo de la señalización informativa utilizada para mostrar que se está regando con agua regenerada.



Figura 4.2 Señal preventiva en la que se indica el uso de agua regenerada para riego (USEPA, 2004).

2. El riego por aspersión debe hacerse preferentemente de noche o cuando las instalaciones estén cerradas al público. Además, deberá programarse de modo que las plantas dispongan del tiempo suficiente para secarse antes de que los usuarios tengan acceso a la zona regada. Se recomienda colocar aspersores de corto alcance o baja presión (Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid, 2006).
3. El riego deberá controlarse de modo que se minimice el encharcamiento y se asegure que la escorrentía superficial queda confinada en el propio terreno (Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid, 2006).
4. Se debe minimizar el contacto de las personas con el agua, cuando se riega por aspersión, para lo que se considerará una distancia de seguridad de 150 m a las áreas habitadas (Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid, 2006).
5. Evitar el riego con aspersión durante los días de viento, para evitar la contaminación por aerosoles (Grupo Tragsa, 2009).
6. Aplicar el riego a una distancia tal que evite que el agua regenerada pueda afectar a acuíferos o cursos de agua. La distancia de aplicación a pozos de uso doméstico recomendada es de 15 m (Grupo Tragsa, 2009).
7. Los empleados que puedan entrar en contacto con el agua regenerada deberán ser instruidos en el adecuado manejo de este recurso, debiendo hacerse hincapié en las condiciones higiénicas a guardar, tanto durante la realización del servicio como a la finalización del mismo (Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid, 2006).
8. Se debe establecer un acuerdo contractual, lo más específico posible, entre los responsables de la producción de agua regenerada y los futuros utilizadores de ese mismo producto (Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid, 2006).

El método de riego adecuado para las aguas grises depende de su nivel de tratamiento. Existen básicamente 5 métodos de riego de aguas grises: 1) el riego por superficie, 2) el riego por fosa bajo tierra, 3) el riego por goteo a una profundidad mínima (100 mm por

debajo del nivel del suelo), 4) el riego por goteo superficial y 5) el riego por aspersión (Western Australia, 2005).

Los dos sistemas más usados son el riego por goteo (Figura 4.3), caracterizado por permitir la aplicación subterránea o directa del agua regenerada sobre la tierra, pese al mayor riesgo de obturación de las tuberías por materia orgánica en suspensión o por la microflora que se desarrolla, o bien, el riego por aspersión (Figura 4.4).



Figura 4.3. Imagen de un sistema de riego por goteo (Grupo Tragsa, 2009).



Figura 4.4 Imagen de un sistema de riego por aspersión (Grupo Tragsa, 2009).

El tamaño de los sistemas de riego debe estar relacionado con la capacidad del suelo para recibir las aguas grises (es decir, la velocidad de infiltración máxima) y el flujo diario de aguas grises estimado.

La mayoría de estos usos no tienen requisitos específicos en cuanto a la tasa de aplicación de las aguas regeneradas, ya que estos se basan generalmente en las condiciones propias del lugar. Sin embargo, la mayoría de los estados americanos recomiendan una carga hidráulica de no más de 2 pulgadas por semana (51 mm por semana). Delaware exige en los reglamentos que la máxima carga de aguas residuales se limite a 2,5 pulgadas por semana (64 mm por semana). Florida recomienda un máximo anual promedio de 2 pulgadas por semana (51 mm por semana) (USEPA, 2004).

4.3 TRATAMIENTOS DISPONIBLES

El proceso de tratamiento necesario para que un agua depurada pueda ser reutilizada se denomina generalmente regeneración y el resultado de dicho proceso agua regenerada. De acuerdo con su significado etimológico, la regeneración de un agua consiste en devolverle, parcial o totalmente, el nivel de calidad que tenía antes de ser utilizada (Mujeriego, 2006).

La implantación de un proyecto de regeneración de agua tiene dos requisitos esenciales y complementarios: 1) definir los niveles de calidad adecuados para cada uno de los posibles usos que se piense dar al agua, descritos en el apartado anterior y 2) establecer los procesos de tratamiento y los límites de calidad del efluente recomendados para cada uno de los usos previstos. La elaboración y la aprobación de estos dos aspectos técnicos de la regeneración de agua constituyen generalmente la faceta más discutida de todo programa de reutilización, debido a la dificultad de establecer una relación causal entre la calidad del agua y los posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente. Prueba de ello son la diversidad y la heterogeneidad de los criterios y las normas de calidad establecidas por diversos países y organizaciones internacionales sobre la reutilización del agua (USEPA, 2004; OMS, 1989).

Una exigencia característica de los proyectos de regeneración de agua es la necesidad de asegurar una fiabilidad notable del proceso de tratamiento y una gestión adecuada del sistema de reutilización del agua. La circunstancia de que la reutilización del agua suela conllevar en muchos casos la posibilidad de un contacto directo con personas, animales o plantas, que pueden verse afectados en su salud o desarrollo, hacen que la fiabilidad de los sistemas de regeneración de agua deba ser elevada y constituya un elemento esencial tanto de su concepción como de su explotación y mantenimiento.

La fiabilidad de los procesos de tratamiento pasa así a constituir un elemento esencial de la concepción y la explotación del sistema de reutilización, con prioridad sobre el rendimiento y la eficacia de los propios procesos, que han de satisfacer los límites de calidad establecidos para el efluente.

Atendiendo al posible contacto o ingestión del agua regenerada por parte de las personas, la reutilización se clasifica en: 1) reutilización para uso potable y 2) reutilización para uso no potable, en la que nos centraremos. La primera categoría incluye los usos en que el agua regenerada puede ser ingerida por las personas, y la segunda engloba todas las demás. Esto es especialmente aplicable en países desarrollados, donde los recursos hídricos son limitados y la protección ambiental es una prioridad destacada.

Los parámetros comunes que imponen los límites de la calidad de las aguas son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los sólidos en suspensión totales (SST), y los coliformes fecales y totales. Estos últimos se utilizan generalmente como indicadores para

determinar el grado de desinfección. El límite de turbidez por contra, se especifica normalmente para supervisar el rendimiento de la instalación del tratamiento.

A continuación, enumeraremos los tratamientos a seguir en cada uno de los usos previstos del agua regenerada, tomando como referencia las normativas de los siguientes estados americanos: Arizona, California, Florida, Hawái, Nevada, Texas y Washington, que destacan por el grado de conocimiento y la larga experiencia en el ámbito de la reutilización. El RD 1620/2007 no determina los tratamientos a seguir, es por ello, que hemos considerado conveniente nos tomar los métodos americanos como guía.

Usos urbanos

Reutilizar el agua regenerada para fines urbanos comporta la posibilidad de que el público se vea expuesto a dicha agua y requiere un alto nivel de tratamiento. En general, todos los Estados que especifican un proceso de tratamiento requieren un mínimo tratamiento secundario seguido de una desinfección previa a la reutilización. Sin embargo, la mayoría de los estados requieren niveles adicionales que pueden incluir la oxidación, la coagulación y la filtración (USEPA, 2004). Estados como Texas no especifican el tipo de procesos de tratamiento requeridos y sólo establecen límites sobre la calidad del agua regenerada.

Si el agua regenerada se usa en lugares donde la exposición del público al agua está controlada, los requisitos de tratamiento pueden no ser tan estrictos como en el caso anterior. En general, los estados exigen un mínimo tratamiento secundario o biológico seguido de una desinfección. Florida en cambio, requiere niveles adicionales de tratamiento con filtración y coagulación (USEPA, 2004).

Usos agrícolas

El uso de agua regenerada para el riego de cultivos alimentarios está prohibido en algunos estados, mientras que otros permiten el riego de cultivos alimentarios con agua regenerada, sólo si la cosecha va a ser procesadas y no se comen crudas y algunas permiten su uso en cultivos de consumo crudo, como California. Los tratamientos a seguir también son muy diversos, desde un tratamiento secundario en Nevada, para el riego de cultivos de alimentos procesados, hasta la oxidación, la coagulación, la filtración y la desinfección en Arizona, California, Florida, Hawai y Washington. La mayoría de los estados exigen un alto nivel de tratamiento cuando el agua es utilizada para cultivos comestibles, especialmente los que van a ser consumidos crudos. Sin embargo, los reglamentos vigentes en el tratamiento y la calidad de las aguas varían de un estado a otro y dependen en gran medida del tipo de riego empleado y del tipo de alimento cultivado. Por ejemplo, para alimentos que se consumen crudos, Washington exige que el agua regenerada deba pasar por un proceso de oxidación y de desinfección que asegure una concentración media de coliformes totales no superior a 2,2/100 mL. Cuando se utiliza riego por aspersión, se exige una oxidación, una coagulación, una filtración y una desinfección. Para los alimentos procesados, sólo se requiere una oxidación y una desinfección, independientemente del tipo de riego (USEPA, 2004).

En cambio, el uso de agua regenerada para el riego agrícola de cultivos no alimentarios comporta menores exigencias de tratamiento. La mayoría de los estados requieren un tratamiento secundario seguido de una desinfección, aunque en Hawai también precisan de una filtración (USEPA, 2004).

Uso recreativo

Al igual que con la reutilización urbana, el uso de agua regenerada para uso recreativo sin restricciones, donde es probable la exposición de la población al agua, requiere un alto grado de tratamiento. Sólo 4 de los 7 estados (California, Nevada, Texas y Washington) tienen reglamentos o directrices relativas a este tipo de reutilización. Nevada requiere un tratamiento secundario con desinfección, mientras que California exige la oxidación, la coagulación, la clarificación, la filtración y la desinfección del agua (USEPA, 2004).

La reutilización para uso recreativo con restricciones precisa generalmente de tratamientos menos estrictos, debido a que la exposición directa del agua al público está controlada. Seis de los 7 estados (Arizona, California, Hawai, Nevada, Texas y Washington) disponen de reglamentación. Con la excepción de Arizona y Hawai, que requieren la filtración, el resto de los estados requieren un tratamiento secundario con desinfección (USEPA, 2004).

Debido a la gran variedad de posibilidades en cuanto a tratamientos a realizar, consideraremos la combinación más restrictiva de todos ellos, es decir, aquella con la que se pueda obtener la mejor calidad de agua regenerada, independientemente del tipo de uso al que se quiera aplicar. Ésta consiste en realizar un tratamiento secundario seguido de una filtración y una desinfección.

Tratamiento secundario

Los objetivos de un tratamiento biológico son tres: 1) reducir el contenido de materia orgánica del agua, 2) reducir su contenido en nutrientes y 3) eliminar los microorganismos patógenos y parásitos. Estos objetivos se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes cepas bacterianas.

El proceso biológico puede llevarse a cabo por distintos procedimientos. Los más usuales son el proceso denominado de fangos activos y el denominado de lechos bacterianos o percoladores. Existen otros procesos de depuración aerobia de aguas residuales como los sistemas de lagunaje, los filtros verdes, los lechos de turba o los contactores biológicos rotativos (USEPA, 2004).

El sistema de lodos activos, el más usado en estos casos, consiste en un proceso continuo en el que el agua residual se estabiliza biológicamente en tanques o balsas de activación, en las que se mantienen condiciones aerobias. El efluente pasa a estas balsas de fangos activos, donde se realiza un aporte de oxígeno para la acción metabólica de los microorganismos. Este aporte se efectúa mediante turbinas o bien a través de difusores dispuestos en el interior de la balsa.

Una vez que los afluentes han pasado por estos tanques de aireación y de digestión bacteriana, los efluentes pasan por los decantadores secundarios. Estos decantadores constituyen el último escalón en la consecución de un efluente bien clarificado, estable, de bajo contenido en DBO y en sólidos en suspensión (menos del 10% en comparación con el influente). Aunque el tratamiento biológico reduce la DBO del agua efluente un 75-90%, la del fango se reduce en mucha menor medida, por lo que suele ser necesario el posterior tratamiento de dichos fangos.

Para que el proceso sea efectivo, debe mantenerse un equilibrio entre los microorganismos del reactor y el alimento contenido en el agua residual, por lo que es necesario regular el caudal de fangos que se introduce en la balsa de activación en función de la cantidad de alimento que entra con el agua residual.

Filtración

La filtración es un proceso físico destinado a eliminar las partículas antes de la desinfección. Implica el paso de las aguas a través de un lecho de medio granular o de un filtro de tela, que retienen las partículas según el tamaño, el tipo y la profundidad del filtro, así como de la carga hidráulica y las características físicas del agua sin tratar, los sólidos en suspensión, los patógenos y ciertos productos químicos, sabores y olores. Los medios granulares típicos incluyen la arena, la antracita y el granate, o bien los microfiltros u otros procesos de membrana (USEPA, 2004). La eficiencia del tratamiento puede ser mejorada mediante la adición de determinados coagulantes y polímeros.

En los últimos años, los mismos factores que han favorecido el uso de membranas para el tratamiento de agua potable están influyendo en su uso para el tratamiento de aguas residuales antes de su reutilización. Mejoras en las tecnologías de separación por membranas de sólidos en suspensión, compuestos disueltos y patógenos humanos (quistes de protozoarios, bacterias y virus) han inspirado una mayor confianza en el uso del agua regenerada, para usos que comportan un contacto humano tanto directa como indirectamente (USEPA, 2004).

El atractivo principal de la tecnología de membranas es el hecho de que trabajan sin la adición de productos químicos, con un uso relativamente bajo de energía y unas conducciones de proceso fáciles y bien dispuestas. La tecnología de membranas es un término genérico para describir una serie de procesos de separación diferentes y muy característicos.

El principio es bastante simple: la membrana actúa como un filtro muy específico que dejará pasar el agua, reteniendo los sólidos en suspensión y otras sustancias. Hay varios métodos para permitir que las sustancias atraviesen una membrana. Ejemplos de estos métodos son la aplicación de alta presión, el mantenimiento de un gradiente de concentración en ambos lados de la membrana y la introducción de un potencial eléctrico.

La filtración con membrana se puede dividir en micro y ultra filtración por una parte y en nanofiltración y ósmosis inversa (RO o hiperfiltración) por la otra. Cuando la filtración se utiliza para retirar partículas más grandes, se aplican la microfiltración y la ultrafiltración. Debido al carácter abierto de estas membranas, su productividad es alta y las diferencias de presión son bajas.

Cuando se necesita desalinizar el agua es decir, retener o separar iones del agua, se aplican la nanofiltración y la ósmosis inversa. La nanofiltración y las membranas de RO no actúan según el principio de la porosidad; la separación ocurre por difusión del agua y los iones a través de la membrana. La presión requerida para realizar la nanofiltración y la ósmosis inversa es mucho más alta que la requerida para la micro y ultra filtración, y su productividad es mucho más baja.

La Figura 4.5 muestra las sustancias que pueden quedar retenidas en cada uno de los procesos de filtración por membrana, dependiendo del tamaño del poro de la membrana.

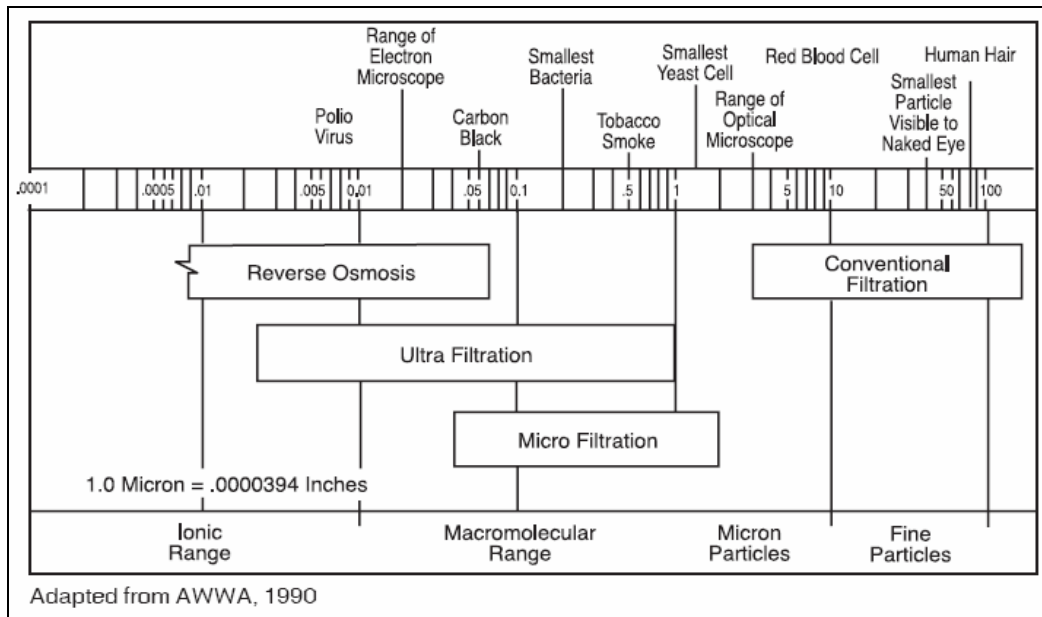


Figura.4.5 Relación entre el tamaño de poro de la filtración con membrana y el tamaño del material retenido (AWWA, 1990).

Los sistemas de filtración por membrana se pueden utilizar para sustituir clarificadores secundarios y procesos de filtración convencionales (arena) en el tratamiento de aguas residuales domésticas (USEPA, 2004).

Desinfección

El objetivo de la desinfección durante el tratamiento del agua es reducir substancialmente el número de microorganismos vivos que se descargará nuevamente al ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua tratada (por ejemplo: turbiedad y pH), del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de diversas variables ambientales. Los métodos comunes de desinfección incluyen el cloro y sus derivados, el ozono y la luz UV. Los factores que deben ser considerados al evaluar las alternativas de desinfección incluyen su eficacia y fiabilidad, sus costes de capital, sus costes de funcionamiento y mantenimiento, su puesta en práctica (por ejemplo, la facilidad de transporte y el almacenamiento o el sitio de generación, la facilidad de aplicación y el control, la flexibilidad, la complejidad y la seguridad), y sus posibles efectos adversos.

La desinfección con cloro sigue siendo la forma más común de desinfectar las aguas debido a su bajo costo, su largo plazo de la eficacia y al conocimiento casi universal de su aplicación. Además, los desinfectantes basados en cloro son los únicos con propiedades residuales duraderas para prevenir el crecimiento microbiano y proporcionar protección continua. Sin embargo, tienen la desventaja de ser corrosivos y de generar compuestos orgánicamente clorados, al reaccionar con la materia orgánica, que pueden ser cancerígenos o dañinos para el ambiente.

La aplicación de los tratamientos citados previamente permite conseguir un agua regenerada que cumple las condiciones de calidad exigidas por el RD 1620/2007. Si se

desea es posible añadir otros sistemas complementarios con el fin de mejorar todavía más la calidad del agua resultante y la eficacia de cada uno de los procesos aplicados.

Las aguas grises contienen un alto nivel de sólidos en suspensión, de aceites, de grasa que pueden obstruir los conductos de irrigación, las bombas y los tubos. Por lo tanto, es aconsejable incorporar un sistema de filtración o un depósito de sedimentación donde las grasas y los sólidos queden retenidos. Una posibilidad usada habitualmente es la colocación de una reja de desbaste previa al tratamiento secundario, que garantice la retención de las partículas.

Otro proceso que puede incorporarse al sistema de tratamiento, previo a la desinfección, es el de filtración con mallas Hydrotech Discfilter.

El RD 1620/2007 fija un valor máximo admisible de 1 huevo de nematodos intestinales en 10 litros de agua para diversas opciones de uso. La notable exigencia práctica que comporta la realización de los análisis asociados a su protocolo de vigilancia, tales como la toma de muestras de gran volumen, la realización de los análisis en laboratorios especializados y el coste de cada análisis han estimulado el desarrollo de procesos alternativos para minimizar estos esfuerzos.

Uno de ellos es la utilización de un proceso Hydrotech Discfilter, provisto de mallas filtrantes de 10 μm de tamaño, ya que ofrece la posibilidad de retener de forma total los huevos de helmintos parásitos que pueda contener un agua durante un proceso de regeneración (Proyecto de demostración, Veolia Water, 2007). Su consumo energético bajo, su tamaño compacto, su control automático simple y sus paneles de filtro fácilmente intercambiables hacen de este proceso una alternativa eficaz, fiable y competitiva.

4.4 SISTEMA CONSTRUCTIVO

Hasta el momento nos hemos centrado en describir los tratamientos que permiten asegurara la calidad del agua regenerada y la hacen idónea para su nuevo uso. Para conseguir el objetivo de proporcionar el agua regenerada a los usuarios hay que incorporar una serie de instalaciones como son una red hidráulica exclusiva de evacuación y transporte y un depósito de almacenamiento para acumular las aguas una vez regeneradas.

La necesidad de asegurar una regeneración fiable y constante en términos de producción y distribución de agua, así como de calidad y de cantidad adecuadas es esencial y exige que se preste una atención cuidadosa a estas características durante el diseño, la construcción, y el funcionamiento de las instalaciones. Para conseguir dicha fiabilidad se deben combinar una serie de elementos: una red de recolección exclusiva, el suministro de energía, los equipos mecánicos, un depósito de almacenamiento y el programa de mantenimiento.

El cálculo de la instalación de aguas grises se realizará en función del uso del edificio o construcciones (Ordenanza Municipal para el ahorro de Agua, 2005).

- Viviendas unifamiliares:

Se tomará como referencia un consumo mínimo de agua para duchas y bañeras de sesenta litros por persona y día (60 L/hab-día) y un máximo de 100 litros por persona y día (100 L/hab-día).

- Viviendas plurifamiliares:

El cálculo de referencia será el mismo que para las viviendas unifamiliares, con la particularidad que deberá existir un sistema de aguas grises común para todos los vecinos.

- Hoteles:

Se tomará como referencia un consumo medio mínimo de agua para duchas y bañeras de noventa litros por persona y día (90 L/usuario-día) y un máximo de 120 litros por persona y día (120 L/usuario-día).

- Complejos deportivos:

Se tomará como referencia un consumo medio máximo de agua para duchas y bañeras de sesenta litros por usuario y día (60 L/usuario-día). Para usuarios de piscinas solamente, será de 30 litros por usuario y día (30 L/usuario-día).

Una vez realizados de forma independiente los cálculos para la recogida de las aguas grises que se generan en una vivienda, se inicia el proceso de evacuación. Existen dos sistemas principales que permitirán recoger y desviar las aguas grises: los sistemas de desviación por gravedad y los sistemas de desviación por bombeo (Proyecto AQUAMAC, 2005).

Los sistemas de desviación por gravedad incorporan una válvula manual fijada a la salida de la tubería de desagüe. Esta válvula puede ser activada por el propio usuario para desviar las aguas grises hacia el depósito donde será tratada, evitando que sean vertidas al alcantarillado. Los sistemas de desviación por bombeo en cambio, son más complicados. Incorporan una red de cañerías específica que recoge las aguas procedentes de lavabos, duchas y lavadoras, que van a parar al depósito correspondiente desde donde se realizará el tratamiento. Cabe precisar que las tuberías conviene que sean de Polietileno de alta densidad (HDPE – 0,955 gr/cm³) (Proyecto AQUAMAC, 2005).

La elección de uno u otro sistema puede variar, dependiendo del coste que implique la instalación del sistema o del tipo de vivienda en el que se quiera implantar (vivienda de construcción nueva o antigua). La desviación por gravedad puede ser adecuada para viviendas ya construidas, donde únicamente será necesario incorporar una válvula de mariposa a los desagües de la casa sin que suponga un coste muy elevado ni conlleve realizar obras significativas. La Figura 4.6 muestra un esquema de un sistema de gravedad en el que se observa la existencia de la válvula de mariposa que permite el desvío de las aguas grises hacia el lugar donde se iniciará su correspondiente tratamiento.

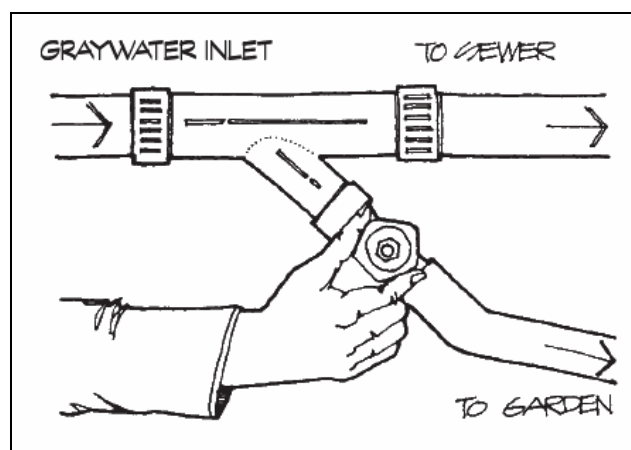


Figura 4.6 Sistema de desviación de aguas grises por gravedad (Vall L. Little).

Si se prevé la construcción de una vivienda nueva, se recomienda usar un sistema de desviación por bombeo, en el que la instalación de un sistema de cañerías para aguas grises no supone ningún coste adicional e incluso contabiliza como puntos constructivos. Por ejemplo el Decret d'Ecoeficiència de la Generalitat de Catalunya (21/2006 del 14 de febrero) exige un mínimo de 10 puntos para las viviendas de nueva edificación con objeto de cumplir con el apartado relativo a materiales y sistemas constructivos. Entre las posibilidades de conseguir estos puntos, la sola reutilización de aguas grises ya representa 3 de ellos.

Una vez eliminadas las sustancias sólidas y los agentes patógenos de las aguas grises, se procede a su almacenamiento en un depósito exclusivo para ello. Deberán preverse partes comunes en los edificios y las construcciones en los que alojar el equipo de depuración y almacenamiento, que debe ser de fácil acceso, para garantizar su mantenimiento y control. Así mismo, el diseño de este sistema de ahorro de agua se debe prever junto con el de otros suministros, de modo que todas las tuberías discurran por el interior de los edificios y las construcciones evitando su impacto visual.

Se tomará como referencia para su dimensionamiento una recolección media de aguas grises de 54 L/hab-día. El depósito se dimensionará para tres días de almacenamiento mínimo, aunque este requisito variará dependiendo de la ubicación geográfica y de las condiciones del lugar. Por ejemplo, Florida requiere un mínimo de volumen de almacenamiento equivalente a 3 días de caudal medio de diseño mientras que Dakota del Sur requiere un volumen de almacenamiento mínimo de 210 días de caudal medio de diseño. La gran diferencia de tiempos es debida al alto número de días en que no se puede regar en los estados del norte debido a las temperaturas de congelación. Además de esta exigencia, Florida también requiere que se realice un balance de agua sobre la base de 1-en-10 años y con un intervalo de recurrencia de precipitaciones a partir de datos climáticos de un mínimo de 20 años para determinar si se requiere almacenamiento adicional más allá del requisito mínimo de 3 días (USEPA,2004).

El depósito deberá contar obligatoriamente con un rebosadero que conecte con la red de saneamiento y dispondrá de una alimentación desde la red municipal de abastecimiento. La conexión a la red de abastecimiento aportará caudal siempre y cuando el volumen de agua regenerado no satisfaga la demanda. Esta conexión no podrá entrar en ningún caso en contacto con el nivel máximo del depósito. Se procederá a la limpieza interior del depósito de almacenamiento como mínimo una vez al año y debe estar protegido contra retornos de agua o cualquier otra causa de contaminación.

También deben de tenerse presentes las distancias a salvaguardar: a) 10 metros a fosas sépticas y/o pozos negros y b) 1,50 metros a la red subterránea de aguas fecales. Deben caracterizarse por estar debidamente ventilados, tener un acceso fácil para su limpieza, tener los accesos estancos y a prueba de insectos y disponer de un fondo cónico que impida la acumulación de sedimentos y que facilite su limpieza (USEPA, 2004).

La mayoría de los sistemas de aguas grises requieren de un servicio que se encargue de mantener el sistema. Una vez que un sistema de aguas grises se instala, el dueño de la vivienda tiene la responsabilidad de asegurarse de que se gestionan de acuerdo con las instrucciones del fabricante y se mantienen en buen estado de funcionamiento.

Cualquier defecto debe corregirse tan pronto como sea evidente. En caso de que el sistema cause una molestia que sea peligrosa para la salud pública o sea ofensiva para el público, el propietario puede enfrentarse a responsabilidades jurídicas (Western Australia, 2005).

Algunos sistemas de aguas grises requieren un mantenimiento regular de limpieza semanal o sustitución de los filtros periódicos y el desvío de aguas grises al sistema de alcantarillado principal de forma manual. La operación y el mantenimiento de los sistemas correrán a cargo del dueño de la vivienda. Los costos incluyen los primeros gastos de construcción, la autorización para operar con las bombas, la sustitución de los filtros y la limpieza de riego. Algunos sistemas de aguas grises (por ejemplo, unidades de tratamiento aeróbico) exigirán a los propietarios establecer un contrato de mantenimiento o bien con los encargados de la instalación o con otra persona capacitada para el servicio y que este autorizada (Western Australia, 2005).

Los propietarios deben desviar las aguas grises manualmente de nuevo en la red de alcantarillado existente o sistema séptico en tiempos de lluvia, como por ejemplo, durante el invierno y la primavera. Esto es esencial para evitar el exceso de riego de los suelos durante la estación húmeda (por ejemplo, invierno / primavera período de lluvia) y la adición de un exceso de nutrientes a las plantas (Western Australia, 2005).

Los propietarios se encargarán también de los trabajos posteriores a la puesta en marcha (Western Australia, 2005), que consisten en:

1. El mantenimiento regular de los sistemas con dispositivos de filtrado.
2. La prueba de pH y sodicidad en los suelos sobre una superficie regular. La adición de yeso puede ser necesaria para ayudar a eliminar cualquier acumulación de sodio y magnesio. Además, de vez en cuando cabe revisar los niveles de nutrientes para asegurarse que no hay exceso de abono.
3. Los tanques deben ser inspeccionados periódicamente para detectar la presencia de cría de mosquitos y así poder eliminarlas.
4. Las rejillas de ventilación deben ser inspeccionadas periódicamente, para ser limpiadas o sustituidas si están bloqueadas o dañadas. El mantenimiento (por ejemplo, la limpieza de filtros) debe asegurar:
 - a. Evitar el contacto directo con la piel mediante el uso de guantes de goma y ropa de protección;
 - b. Asegurar que los cortes, llagas y heridas abiertas, están adecuadamente protegidos (por un impermeable que los cubre) de cualquier contacto con las aguas grises;
 - c. Asegurar que las áreas del cuerpo que hayan entrado en contacto con aguas grises son lavadas posteriormente;
 - d. Evitar el contacto con la boca o la cara, ya sea directamente (por ejemplo con los dedos o manos) o indirectamente (por ejemplo, mediante el cigarrillo) hasta después de lavarse las manos, y
 - e. Evitar la ingestión de alimentos hasta que las manos hayan sido lavadas a fondo.

4.5 SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN Y CONTROLES DE VIGILANCIA

La reutilización de las aguas grises supone obtener una fuente de recursos hídricos complementaria que alarga su ciclo de vida y añade valor a su uso.

La reutilización de aguas grises permite proteger las reservas de aguas subterráneas, reduciendo la carga de las aguas residuales y consiguiendo una disminución importante del gasto de agua potable. Ahora bien, no pueden utilizarse en cualquier lugar, puesto que es necesario un espacio suficiente para permitir el desarrollo del proceso de tratamiento del agua y disponer de unas condiciones climáticas adecuadas. Hay que tener en cuenta que aunque las aguas grises no son normalmente tan peligrosas para la salud pública o el medio ambiente como las aguas provenientes de los inodoros, poseen cantidades significativas de nutrientes, de materia orgánica y de bacterias, que puedan causar efectos nocivos sobre la salud pública, contaminar el medio y provocar mal olor, si no se realiza un tratamiento eficaz previo a su descarga o reutilización.

Ello requiere que debamos solicitar una autorización previa para su instalación (Western Australia, 2005). Generalmente serán aprobadas, pero en determinadas circunstancias, como pueden ser las siguientes, la autorización será denegada:

1. El sistema de aguas grises (o el diseño del sistema) no es aprobado por el órgano ambiental competente.
2. No se aprueba la correspondiente licencia para la ejecución de las acometidas.
3. La propiedad se encuentra en una zona ambientalmente sensible.
4. Las condiciones del lugar son inapropiadas (por ejemplo, los suelos no son aptos y / o los niveles de las aguas subterráneas son muy próximos a la superficie del suelo).

España no dispone de legislación u ordenanza que determine las características y condiciones que se deben cumplir para autorizar la instalación del correspondiente sistema de regeneración de aguas grises. Esto nos ha llevado a tomar como referencia la de otro país como es el Código de Prácticas para la Reutilización de Aguas Grises en el Oeste de Australia, 2005. Sólo permite que los sistemas de aguas grises que cumplen con unos requisitos y que hayan sido aprobados por el órgano ambiental competente podrán ser instalados.

La Sección 3 (1) de la Ley de Salud 1911 del oeste de Australia define todos los sistemas de aguas grises como un "Equipo para el tratamiento de aguas residuales". Su diseño, su fabricación y su uso deben ser aprobados por el Director Ejecutivo de Salud Pública. Los sistemas de aguas grises deben estar diseñados, contruidos, operados y mantenidos en conformidad con el texto siguiente:

1. En el tratamiento primario de aguas grises, los sistemas deben incorporar un sistema de filtros o un tanque de sedimentación para eliminar las grasas y los sólidos.
2. Los sistemas de tratamiento de aguas grises que provienen de cocinas, baños y lavanderías deben tener un tanque de sedimentación con un volumen mínimo de 1820 L o ser tratados a través de una unidad de tratamiento aeróbico.
3. Los sistemas de aguas grises que tratan solo aguas de baños y lavanderías, a través de un tanque de sedimentación, deben ser diseñados para proporcionar al menos 24 horas de retención del flujo diario de aguas grises.
4. Las variaciones de los anteriores requisitos de diseño se tendrán en cuenta en los sistemas propuestos por los fabricantes. Estos sistemas tendrán que demostrar su eficacia a largo plazo durante el funcionamiento del sistema. Dependiendo de la

naturaleza del sistema, la demostración puede requerir que el sistema sea sometido a una prueba de rendimiento.

5. Los fabricantes de sistemas de aguas grises deben demostrar al Departamento de Salud que el sistema puede ser operado de manera efectiva a largo plazo sin bloqueos entre los servicios.
6. Estos sistemas deben disponer siempre de una garantía del fabricante y de los requisitos detallados de mantenimiento.
7. Los sistemas de riego deberán ser los adecuados, teniendo en cuenta las probabilidades de calidad de aguas grises procedentes del sistema de tratamiento.
8. Las tuberías de riego deben ser de color violeta (PANTONE 2577U ó RAL 4001) para su identificación y diferenciación internacional.
9. Los sistemas de aguas grises deben tener un sistema automático y un desbordamiento manual a la red de alcantarillado, provistos e instalados de acuerdo con la las instrucciones del fabricante.
El desbordamiento deberá diseñarse de manera que en caso de que el riego o sistema de filtrado deje de funcionar adecuadamente, el desbordamiento de aguas grises se producirá automáticamente al sistema principal de alcantarillado.
10. Los sistemas deben estar diseñados para garantizar la fácil desconexión del riego durante el invierno y la primavera. Esto es esencial para evitar el exceso de agua de los suelos durante la estación húmeda (por ejemplo, en invierno y en primavera, períodos de lluvia) y la adición de nutrientes en exceso.
11. La conexión de aguas grises debe estar diseñada de forma que se evite la entrada de los gases del alcantarillado al interior de la propiedad. Todos los trabajos de fontanería deben ser realizados por un fontanero autorizado.
12. Todas las bombas y tanques de tratamiento deben cumplir con las medidas estructurales y de acceso.
13. Los sistemas de riego deben tener suficiente espacio para garantizar el rendimiento a largo plazo y el mantenimiento de los tipos de suelo, teniendo en cuenta los volúmenes de aguas grises.
14. Los sistemas deben ser diseñados para evitar el riesgo de bloqueo o las fugas desde cualquier parte del sistema.
15. Los sistemas deben estar ventilados para evitar la acumulación de aire viciado o su entrada en edificios o en otros lugares donde puedan causar molestias.
16. Las aguas grises tiene un alto nivel de sólidos en suspensión, aceites, grasa, que pueden obstruir las líneas de irrigación, las bombas y los tubos. Por lo tanto, es esencial filtrar las aguas grises si se realiza riego por goteo o por aspersión.
17. Los sistemas deben ser diseñados de acuerdo con los usos a realizar.

Las solicitudes para construir o instalar un aparato para el tratamiento de aguas residuales domésticas serán concedidas por la Administración Local. El solicitante deberá completar el correspondiente formulario, incluyendo:

1. La fuente de aguas grises para su reutilización.
2. El número de dormitorios de la casa.
3. La marca y detalles del sistema propuesto.
4. Un detallado plan de diseño del sitio que se compone de:
 - a. Las dimensiones del bloque;
 - b. El contorno natural del terreno, pozos, perforaciones, represas y la profundidad de los cursos de agua subterránea;

- c. Los edificios existentes y propuestas, otras estructuras y zonas pavimentadas;
 - d. Los detalles y la ubicación de la eliminación de agua de los tejados;
 - e. Las distancias a los límites, los edificios, la superficie de riego y otras estructuras, y
 - f. Los detalles del desbordamiento a las tuberías de alcantarillado donde se destina.
5. Los detalles del tratamiento y los sistemas de riego, incluyendo:
- a. La ubicación propuesta del sistema y de la reutilización de las aguas grises, incluyendo la posición de las líneas de irrigación / trincheras;
 - b. El método de construcción del área de superficie de riego por inundación, incluidos los materiales que se utilizarán, y
 - c. Los detalles de los mecanismos para asegurar una aprobación de la gestión de cada zona y para evitar la sobrecarga de los distintos ámbitos, en caso de que una fracción de sistema de riego se utilice.
6. La aplicación, la inspección y el informe del Gobierno Local en la actualidad.

Está considerado un delito el comenzar la construcción de un sistema de aguas grises sin su aprobación. Una vez que el Gobierno Local emite la aprobación para construir o instalar un sistema de aguas grises, el sistema puede ser construido, pero no utilizado. Antes de que un sistema pueda ser utilizado, los servicios técnicos del Gobierno Local deben inspeccionar el sistema para asegurarse de que está instalado correctamente. Si la revisión es satisfactoria, se emitirá una autorización para que el sistema pueda utilizarse. Está considerado un delito comenzar a usar el sistema antes de haber recibido la aprobación del Gobierno Local (Western Australia, 2005).

El órgano ambiental municipal competente debe velar por el cumplimiento de la ordenanza, la prevención, la vigilancia y el control de su aplicación, la adopción de medidas cautelares o provisionales y cuantas acciones conduzcan a la observancia de la misma. La competencia, en cada caso, se determinará de conformidad con la organización de los servicios administrativos y el régimen de delegación de competencias que se establezca (Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente de Agua en la Ciudad de Madrid, 2006).

Para ejercer las funciones previstas convendría disponer de un Servicio de Inspección del Agua, formado por inspectores especializados. La integración de dichos inspectores en el citado servicio, así como su categoría y adscripción orgánica, entre otras circunstancias, deberá determinarse mediante el oportuno desarrollo normativo.

Los inspectores tendrán las funciones de: a) comprobar que se cumplen los preceptos de la ordenanza correspondiente y otras disposiciones normativas aplicables, b) evaluar los sistemas de abastecimiento, distribución, saneamiento, depuración, reciclado, aprovechamiento y reutilización de aguas, detectando posibles anomalías o fugas y posibles actuaciones de mejora, c) inspeccionar y homologar los sistemas de alcantarillado ejecutados, bien en el ámbito particular o, de forma comunitaria, así como la inspección de los vertidos a la red de saneamiento, d) informar y asesorar al usuario sobre las medidas a poner en práctica para conseguir un ahorro de agua, ejerciendo así una labor de concienciación y sensibilización ciudadana.

Los servicios de inspección tendrán a todos los efectos la consideración de agentes de la autoridad, estando facultados para requerir y examinar toda clase de documentos, obtener la información necesaria para el cumplimiento de su cometido, con competencias para

inspeccionar, evaluar y levantar acta, en materia de ahorro y eficiencia en el uso del agua. Para ello efectuarán las inspecciones que se consideren necesarias, de oficio o por denuncia de particulares (Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente de Agua en la Ciudad de Madrid, 2006).

El resultado de las inspecciones será reflejado en un acta firmada por el agente actuante, de la que se dará copia al interesado, y que gozará de presunción de veracidad y valor probatorio en cuanto a los hechos consignados en la misma.

Los titulares de viviendas o edificios y los responsables de actividades usuarias de agua que sean objeto de vigilancia o inspección están obligados a facilitar el acceso a las instalaciones a los funcionarios, debidamente acreditados, para el ejercicio de las funciones citadas anteriormente, así como a prestarles la colaboración y facilitarles la documentación necesaria que requieran para el ejercicio de su labor de inspección.

Cuando exista riesgo grave para el medio ambiente o para la salud de las personas, el órgano ambiental competente ordenará, mediante resolución motivada, las medidas indispensables para su protección; entre otras, la suspensión inmediata de la actividad generadora del riesgo. Estas medidas no tienen carácter sancionador. En un plazo máximo de quince días deberá procederse, en su caso, a la incoación del correspondiente expediente sancionador, en el que deberá determinarse el mantenimiento o cese de la medida provisional adoptada, o bien pronunciarse expresamente sobre los mismos extremos, si no existen motivos para la incoación del expediente (Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente de Agua en la Ciudad de Madrid, 2006).

4.6 SISTEMAS DISPONIBLES

Los sistemas de ahorro de agua para edificios y zonas ajardinadas que, junto a un buen uso permiten minimizar el gasto de agua, permiten reducir el coste de la misma, son muy variados.

Se dispone de grifería cuyo diseño facilita el ahorro de agua gracias a su fácil accionamiento frente a los antiguos grifos de doble mando. No obstante si no se quiere sustituir la grifería antigua por una nueva, se pueden incorporar accesorios que reducen bien el caudal y/o airean el agua. Otras posibles medidas son la instalación en sanitarios de dispositivos interruptores de la descarga, pulsadores de doble descarga, detectores de fugas o válvulas de llenado de inodoros existentes con depósito adosado.

La Figura 4.7 muestra una de las últimas novedades en sanitarios. Es originario de Japón y consiste en la instalación de un pequeño lavabo sobre la cisterna del inodoro tipo occidental permitiendo que los usuarios ahorren agua, lavándose las manos con el agua que se usará para llenar el depósito la próxima vez que se tire de la cadena.

El sector doméstico y de servicios, incluyendo las lavadoras y los lavavajillas, constituyen el gasto más elevado de agua y energía. La incorporación de electrodomésticos de alta eficiencia energética potenciará el ahorro de agua y la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera.



Figura 4.7 Inodoro tipo occidental de la marca TOTO.

Los sistemas de reutilización de aguas grises son los dispositivos más eficientes para conseguir un ahorro de entre un 30% y un 45% de agua potable. La reutilización del agua disminuye los costes del agua potable y las aguas residuales, protege las reservas de agua subterránea y reduce la carga de las aguas residuales. Estos sistemas se pueden incorporar en cualquier edificio, y se estima que cada hogar puede ahorrar unos 45 litros de agua potable y de aguas residuales por persona y día. En hoteles e instalaciones deportivas, el ahorro puede llegar a 60 L/usuario-día (Agenda de la construcción sostenible, 2009).

Entre las diversas firmas dedicadas al sector de la regeneración de aguas grises domésticas figura la empresa Remosa. Una empresa nacida en Súrria (Barcelona) en 1981, con una clara vocación de innovación y progreso. Su mercado de actuación se centra en productos para el tratamiento de aguas residuales, regeneración de aguas y almacenamiento de líquidos basados en la tecnología de membranas. Practicamente todas las empresas del sector siguen la misma línea de tratamiento que Remosa, a excepción de algunos casos como Hansgrohe (Pontos) que, en lugar de usar filtración con membranas más cloración, realiza la eliminación de gérmenes e higienización mediante luz ultravioleta, opción que hemos desestimado al considerar que los sólidos suspendidos absorben la radiación y reducen su efectividad.

Remosa dispone de un departamento de ingeniería con un equipo de investigación propio, y de dos plantas productivas con la tecnología más avanzada, lo que le permite ofrecer un servicio integral de diseño, desarrollo y puesta en funcionamiento de soluciones para el tratamiento de aguas residuales urbanas. A principios de 2008, lanzó al mercado la nueva línea de regeneración de aguas, con el fin de depurar las aguas residuales de cualquier origen, tanto sean fecales como procedentes de lavamanos, duchas, bañeras y fregaderos, para adaptarlas a su posterior uso. Los beneficios obtenidos con estos sistemas son múltiples, pero sobre todo, permite alargar el ciclo de vida de un recurso limitado y progresivamente escaso como es el agua.

Las soluciones técnicas propuestas por Remosa varían según la procedencia de las aguas y son las siguientes:

1. Las aguas procedentes de duchas y lavamanos son regeneradas para su posterior uso mediante un sistema denominado GREM.

2. Las aguas negras, es decir las aguas grises junto con las aguas residuales domésticas, son regeneradas mediante un equipo denominado ROXPLUS.

Estación regeneradora GREM

La estación regeneradora GREM es un sistema para el tratamiento de aguas grises provenientes de duchas, bañeras y lavamanos, que permite obtener un agua con calidad de regenerada mediante tecnología de membranas.

El sistema cumple los requisitos del Real Decreto 1620 /2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de reutilización de las aguas depuradas, y consta de todos los tratamientos necesarios para obtener un agua de calidad. La única restricción que supone es que únicamente permite el tratamiento de las aguas provenientes del cuarto de baño dejando de lado las de lavavajillas y lavaderos, ya que contienen jabones y tensoactivos que provocarían un ensuciamiento y deterioro prematuro de las membranas. Igual ocurre con los productos de limpieza agresivos que normalmente contienen productos químicos ácidos, que dañarían el módulo de membranas.

Las canalizaciones hasta la estación regeneradora deben realizarse mediante un sistema separado de tuberías para la recolección del agua de duchas, bañeras y lavamanos. Las tuberías de agua regenerada para suministro a los elementos conectados al sistema serán diferentes y sin interconexión con la red de tuberías de agua potable. Las aguas entran al equipo por gravedad.

El sistema consta de las siguientes etapas:

1. Desbaste: retirar los sólidos que pueda arrastrar el agua, principalmente pelos, que puedan dañar las membranas.
2. Oxidación biológica: el reactor biológico asegura la descomposición biológica de la materia orgánica gracias a la aportación de aire y a la generación de microorganismos aerobios.

Una soplante con difusión de microburbujas (membrana) es la encargada de aportar el oxígeno necesario para que los microorganismos puedan degradar la materia orgánica, creando una agitación suficiente para mantener en suspensión los microorganismos y generando así un flujo de burbujas ascendentes capaz de arrastrar la materia depositada en la superficie de las membranas, produciendo un efecto de limpieza.

3. Filtración: produce la separación sólido-líquido por filtración mediante tecnología de membranas. Mediante un sistema de succión (bomba de permeado) se ejerce un vacío en las membranas, creándose un flujo fuera-dentro de modo que el agua penetra a través de las membranas, quedando los sólidos y las bacterias retenidos en la pared exterior.

El biorreactor de membranas sustituye el tratamiento convencional con luz ultravioleta por su alto rendimiento y fiabilidad de depuración, obteniendo un agua con calidad de agua regenerada, que es insensible a los problemas de sedimentación y actuando como una barrera física selectiva que bloquea el paso de materia en suspensión y microorganismos. La luz ultravioleta no puede tratar aguas turbias con sólidos en suspensión, porque estos absorben la luz y disminuyen su efectividad.

Los difusores crean un flujo de aire ascendente que permite limpiar la superficie de la pared exterior de las membranas y asegurar condiciones aerobias.

4. Cloración y acumulación: el agua tratada es clorada mediante una dosificación de hipoclorito sódico permitiendo conservar las propiedades sanitarias del efluente y asegurando su posible reutilización. El agua regenerada se almacena en el compartimiento de acumulación. Una bomba dosificadora será la encargada de que la dosificación de hipoclorito sódico se efectúe en función del caudal de extracción de permeado. Las aguas almacenadas mantendrán una concentración de cloro activo de 1 mg/l.

La siguiente Figura 4.8 muestra de forma esquemática el flujo del agua a lo largo del proceso de tratamiento.

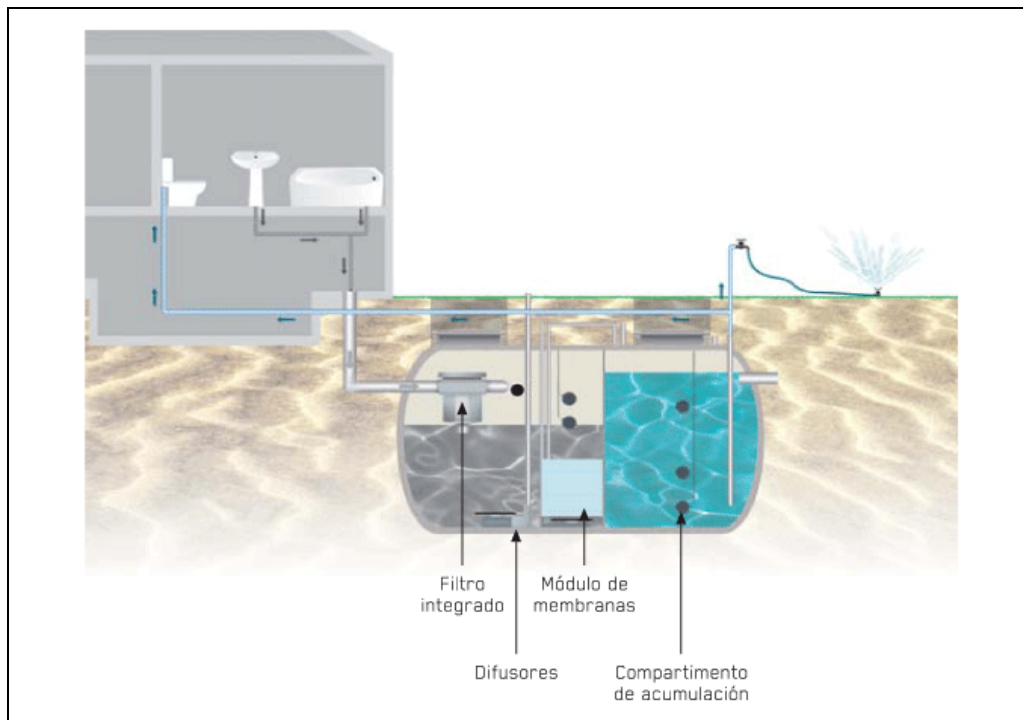


Figura 4.8 Esquema de una estación regeneradora GREM (Remosa, 2009).

El catálogo actual ofrece tres formatos distintos de estación regeneradora GREM, los cuales varían según el caudal de agua regenerada producida. La Tabla 4.2 muestra las características de cada una de las estaciones regeneradoras fabricadas por la empresa Remosa, detallando sus dimensiones así como el coste.

Cuando se produce más agua afluente de la que podríamos regenerar, esta saldrá por el rebosadero hacia la red de alcantarillado. Cuando el caudal regenerado no sea suficiente, el sistema se alimentará de agua de red (potable). Este tipo de estaciones requieren de una conexión eléctrica de 230V–50 Hz y de una potencia de 1 kW. Una vez escogida la estación de regeneración que mejor se adapte a las características del proyecto, se debe proseguir con los requerimientos constructivos. La profundidad del foso debe ser la suma del diámetro o de la altura del equipo, la losa de hormigón armado, la capa de hormigón tierno y la distancia entre la cisterna y el nivel del suelo. Esta distancia variará en función del tipo de instalación:

Sin tráfico: como máximo 500 mm de arena.

Con tráfico: como máximo 500 mm de arena más 250 mm de hormigón armado. Este hormigón debe apoyarse sobre un cubeto de obra.

Tabla 4.2 Características de los diferentes formatos de estación regeneradora GREM (Remosa, 2009).

Formato Modular				
Referencia	Agua regenerada	Altura, mm	Longitud, mm	PVP (€)
GREM 300	300 (L/día)	1.500	750	5.575
Formato Vertical				
Referencia	Agua regenerada	Diámetro, mm	Altura, mm	PVP (€)
GREM 1.000	1.000(L/día)	1.300	1.800	9.975
GREM 1.500	1.500(L/día)	1.600	1.800	11.575
Formato Horizontal				
Referencia	Agua regenerada	Diámetro, mm	Longitud, mm	PVP (€)
GREM 2.500	2.500(L/día)	1.600	2.900	13.750
GREM 3.500	3.500(L/día)	1.600	3.900	15.650
GREM 5.000 D1.6	5.000(L/día)	1.600	6.300	18.450

La distancia entre el depósito y la pared del foso debe ser, como mínimo, de 300 mm en todo el perímetro. Cuando se instalan varios equipos, la distancia entre depósitos debe ser como mínimo de 400 mm. En caso de nivel freático alto o de zonas húmedas, el estudio hidrogeológico determinará las pautas de construcción.

La parte inferior de la fosa debe disponer de una losa de hormigón en masa de 200 mm o de hormigón armado de 150 mm. En ambos casos, el hormigón debe presentar 175 kg/cm² de resistencia. La superficie de la losa ha de rebasar en 300 mm las dimensiones del depósito.

Tras la construcción de la losa de hormigón, debe añadirse un espesor de 250 mm de hormigón tierno de resistencia 100 kg/cm². A continuación deberá colocarse el tanque, con el hormigón aún tierno, y llenarlo de agua hasta un tercio de su capacidad. Una vez asentado y nivelado se sigue rellenando el foso con hormigón hasta cubrir una altura de 1/3 de la altura del depósito y una anchura de 300 mm. El resto se rellenará con material granular, arena o gravilla fina lavada, cribada y libre de polvo, sin arcilla ni materia orgánica y totalmente libre de objetos pesados gruesos, que puedan dañar el depósito, y con una granulometría entre 4 y 16mm.

La descarga y manipulación de los equipos de capacidad superior a 6.000 L debe realizarse mediante eslingas, cintas de material sintético, que una vez introducidas por el interior de las orejas de elevación deberán abrazar al depósito en todo su perímetro. La descarga y manipulación de equipos de capacidad inferior a 6.000 L, puede realizarse mediante eslingas o carretillas elevadoras. Para su instalación enterrada, estos equipos deben introducirse en el foso utilizando las orejas de elevación

El depósito se anclará mecánicamente mediante eslingas de sujeción. Éstas deben situarse en los costillares marcados del depósito. La distancia entre puntos de anclaje ha de ser

igual al diámetro del tanque más 300 mm a cada lado del mismo. Los puntos de anclaje en el fondo del foso deben alinearse. Pueden utilizarse las orejas como punto de sujeción mediante eslingas.

Los depósitos totalmente enterrados dispondrán de una arqueta sobre cada una de las aberturas de acceso al depósito. Las arquetas no han de transmitir a las paredes del depósito ningún tipo de carga que pueda dañar su pared o su aislamiento. La Figura 4.9 y 4.10 muestra un esquema de los detalles constructivos y de la correcta instalación de la estación regeneradora, desde una vista frontal y lateral.

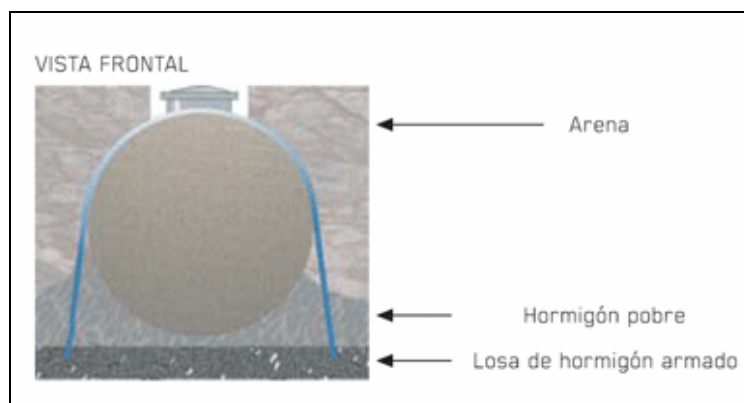


Figura 4.9 Vista frontal de la estación regeneradora GREM (Remosa, 2009).

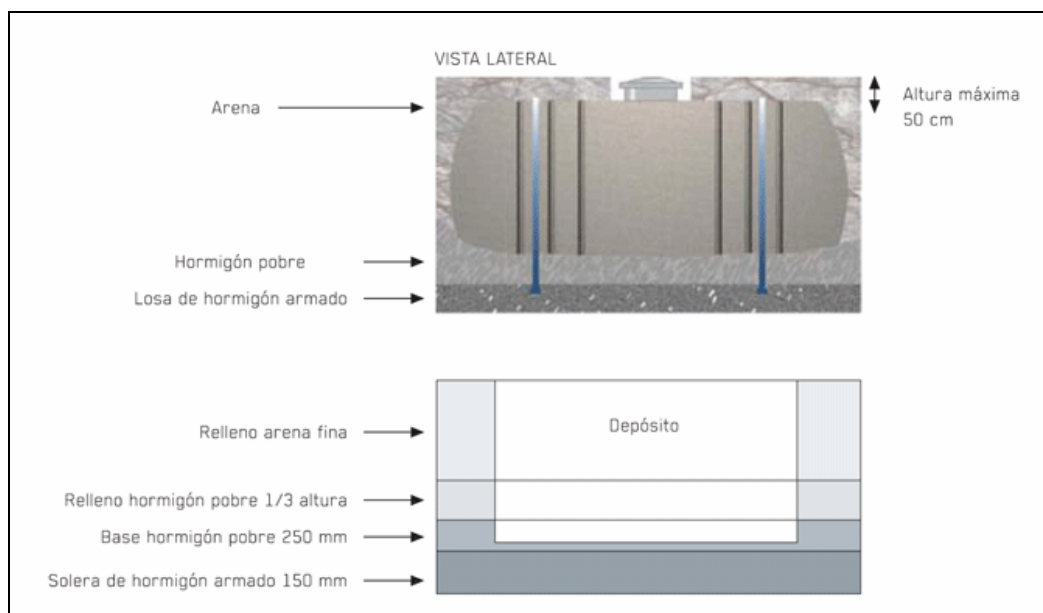


Figura 4.10 Vista lateral y detalles del relleno de la estación regeneradora GREM (Remosa, 2009).

Tras instalar la estación regeneradora se debe realizar un mantenimiento de cada uno de los elementos del sistema que impida que la calidad del agua disminuya y pueda suponer un riesgo medioambiental así como un riesgo para la salud de los habitantes expuestos al agua. El mantenimiento, en el caso de adquirir un producto de Remosa, será realizado por la propia empresa estando el coste de él incluido en el precio de la estación. En caso contrario los costes serán cubiertos por el propietario de la instalación.

Este mantenimiento consiste en una revisión quincenal del estado de los filtros, una limpieza de los filtros de aspiración de los soplantes cada 6 meses, un vaciado de lodos una o dos veces al año, una limpieza de las membranas mediante solución de hipoclorito sódico (lejía comercial) y un llenado del depósito de hipoclorito de 50L cada 6 meses limpiando el filtro una vez al año.

Aunque la vida útil de las membranas es de unos 10 años, se debe realizar un mantenimiento semestral con una solución en hipoclorito sódico al 0,5%. La limpieza deberá realizarse cuando se alcance una presión transmembrana que pueda empezar a suponer un peligro para las membranas. Se recomienda realizar esta limpieza cuando el equipo se encuentre vacío. El piloto luminoso del cuadro eléctrico indicará este momento.

Para asegurar que la calidad de agua es la apropiada se deberán realizar los correspondientes controles analíticos de cada uno de los parámetros de calidad establecidos por el RD 1620/2007. Este procedimiento corre a cargo de los propietarios del sistema, que tendrán que encargarse de contratar a una persona autorizada para realizarlos.

Los equipos de regeneración de agua grises suministrados por Remosa cumplen las siguientes especificaciones medias de rendimiento que se muestra en la Tabla 4.3 y 4.4. La Tabla 4.3 muestra la calidad aproximada del afluente utilizada para el diseño de la Estación regeneradora GREM (Remosa, 2009).

Tabla 4.3 Características del afluente considerado para el diseño de la estación regeneradora GREM (Remosa, 2009).

Parámetros	Concentración
DBO5	150 mg/L
DQO	300 mg/L
MES	90 mg/L
Turbidez	75 UNT
Escherichia Coli	1.5 x 10 ³ ufc/100mL

La Tabla 4.4 muestra las características del agua efluente producida mediante la estación regeneradora GREM (Remosa, 2009).

Tabla 4.4 Características del agua regenerada mediante una estación GREM (Remosa, 2009).

Parámetros	Calidad del agua	Rendimiento de eliminación
DBO5	< 15 mg/L	96%
DQO	< 50 mg/L	90%
MES	< 2 mg/L	99%
Turbidez	< 1 UNT	99%
Escherichia Coli	0 ufc/100 mL	6 (unid- log)

La estación GREM cumple la actual normativa española de reutilización de aguas (Real Decreto 1620/2007) para cada uno de los usos posibles que se les puede dar al agua, siempre y cuando se haya procedido a la instalación recomendada por Remosa. El sistema de gestión de la calidad Remosa está certificado según la norma UNE –EN ISO 9001:2000 para el diseño y la fabricación de sistemas de depuración y de almacenaje de líquidos, con el objetivo de la mejora y la conservación del medioambiente.

Para concluir el proyecto de reutilización se debe instalar un equipo de bombeo que envíe el agua regenerada desde el depósito de regulación del GREM hasta los sanitarios o sistemas de riego, accionándose la bomba mediante un presostato.

Además de su aplicación al caso de aguas grises, este sistema nos permite aprovechar otro tipo de aguas: las pluviales. Las aguas de lluvia tienen características de aguas dulces muy puras y carecen de contaminación de tipo fecal, por lo que no se pueden considerar ni fecales ni regeneradas, no afectándolas las normativas aplicables a estas. La captación de estas se suele realizar en los tejados de las edificaciones de modo que durante su arrastre hacia los Depósitos de Recogida de Aguas Pluviales (DRP) pueden cargarse de polvo, arena y polen, que serán eliminados durante el proceso de sedimentación que se produce en el DRP antes de su utilización. Las estaciones GREM vienen equipadas de una electroválvula para permitir la entrada de agua, tanto de la red de agua potable como de las pluviales provenientes de los DRP. El lugar de recogida es el de almacenamiento de las aguas regeneradas por el GREM y ambas cumplen las características para ser utilizadas para recarga de inodoros y para riego.

Estación regeneradora ROXPLUS

La estación regeneradora ROXPLUS es un conjunto de procesos para el tratamiento de aguas residuales asimilables a domésticas, que permite obtener un agua regenerada mediante tecnología de membranas. Al sistema podemos conectar todos los aparatos sanitarios y las aguas generadas en la vivienda a excepción de las aguas pluviales.

Aunque el estudio de este nuevo sistema pueda parecer innecesario, es del todo apropiado debido a que acepta las aguas procedentes de fregaderos, lavavajillas, lavaderos, que ciertos autores consideran como aguas grises. Los criterios de calidad de las aguas regeneradas dependerán de los usos a los que vayan a ser destinadas (urbanos, agrícolas, industriales, recreativos e ambientales). Se pueden usar en descarga de aparatos sanitarios, para riego y para limpieza exterior siempre que se cumplan los requisitos del RD 1620/2007 obteniendo agua regenerada de calidad.

El sistema se realiza mediante las siguientes etapas:

1. Desbaste: retirar los sólidos que pueda arrastrar el agua, principalmente pelos, que puedan dañar las membranas. El paso debe ser igual o menor a 3mm para no poner en peligro el sistema.
2. Desnitrificación: eliminar el nitrógeno a través de un proceso de desnitrificación. Las aguas residuales domésticas contienen 1/10 parte más de nitrógeno (nitrito y nitrato) que las aguas grises por lo que es necesario llevar a cabo este proceso. El permite que las aguas afluentes se mezclen mediante un agitador con las aguas recirculadas ricas en nitratos, de modo que los microorganismos eliminen la materia orgánica utilizando los nitratos.

3. **Oxidación biológica:** el reactor biológico asegura la descomposición biológica de la materia orgánica gracias a la aportación de aire y a la generación de microorganismos aerobios.
A diferencia de la oxidación total convencional, el reactor biológico trabaja con concentraciones de sólidos más elevadas, de modo que se requiere más oxigenación y una edad del fango más elevada, obteniéndose un rendimiento de depuración superior. Este produce la nitrificación del amonio y su conversión en nitratos.
Una bomba de recirculación iguala las concentraciones de los compartimentos del biorreactor y del tanque de membranas y desvía una pequeña parte de la recirculación al compartimento de desnitrificación.
4. **Filtración:** produce la separación sólido-líquido por filtración mediante tecnología de membranas.
Un sistema de succión ejerce un vacío (rango de presiones: -1 bar a 0 bar) en las membranas que promueve un flujo fuera-dentro de modo que el agua penetra a través de las membranas, quedando los sólidos y las bacterias retenidos en la pared exterior.
Los difusores crean un flujo de aire ascendente que permite limpiar la superficie de la pared exterior de las membranas y asegura condiciones aerobias en todo el reactor. Los difusores del reactor son de burbuja gruesa ya que su objetivo principal es la limpieza de las membranas. Cuanto más gruesa sea la burbuja, mayor será su capacidad de arrastre del fango acumulado en la pared de las membranas. Por contra, los difusores del reactor tienen como objetivo principal aportar oxígeno a los microorganismos para que degraden la materia orgánica. La transferencia de oxígeno aumenta cuanto más pequeña sea la burbuja.
5. **Recirculación:** retorno de fangos al reactor para igualar concentraciones, y para aportar nitratos al compartimento de desnitrificación para que pueda realizarse la desnitrificación.
6. **Cloración (opcional):** el agua tratada es clorada mediante la dosificación de hipoclorito sódico, permite conservar las propiedades sanitarias del efluente y asegurar la reutilización de las aguas en uso residencial.

La Figura 4.11 muestra de forma esquemática los procesos de tratamiento que experimenta el agua a lo largo del tratamiento en una estación regeneradora ROXPLUS.

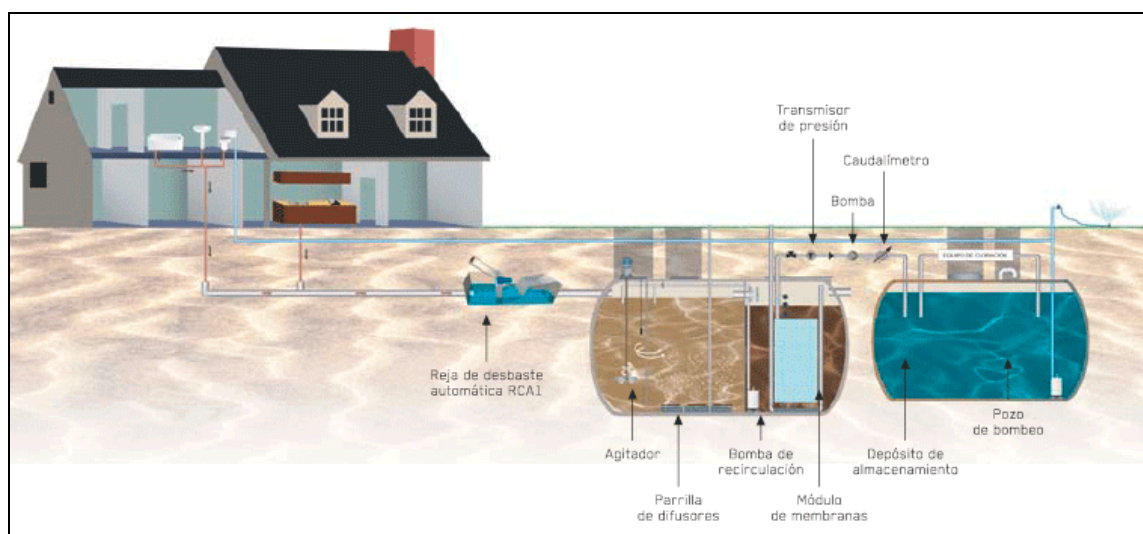


Figura 4.11 Esquema de una estación regeneradora ROXPLUS (Remosa, 2009).

La Tabla 4.5 muestra los diferentes formatos del sistema ROXPLUS disponibles en el mercado, en función del número de habitantes al que está destinado el servicio.

Tabla 4.5 Características de una estación regeneradora ROXPLUS (Remosa, 2009).

Referencia	Nº Habitantes	Diámetro, mm	Longitud, mm	PVP (€)
ROXPLUS 50	50	2.350	3.400	38.150
ROXPLUS 100	100	2.500	4.750	46.050
ROXPLUS 150 D2.5	150	2.500	7.000	54.400
ROXPLUS 200 D2.5	200	2.500	9.000	62.750
ROXPLUS 300 D3	300	3.000	9.460	80.000
ROXPLUS 500 D3.5	500	3.500	11.930	118.125

Cuando el afluente a la estación sea superior al que podríamos regenerar, ésta saldrá por el rebosadero a la red de alcantarillado, al igual que con el sistema GREM. Cuando el agua regenerada no sea suficiente, el sistema se alimentara de agua de red (potable).

Cuando la estación reciba un caudal punta, estando a nivel máximo de funcionamiento, el exceso de caudal afluente se derivará hacia un depósito de seguridad (con un tiempo mínimo de residencia de 8h). Una bomba de recirculación que hay en su interior se encargará de devolver su contenido al sistema, automáticamente durante la noche. En caso de no disponer de dicho depósito, el agua iría directamente al sistema de alcantarillado.

La Tabla 4.6 muestra los diferentes depósitos de seguridad existentes en el mercado para el control de puntas de caudal, para su uso durante el paro en la extracción de permeado o para las operaciones de limpieza y mantenimiento (Remosa, 2009).

Tabla 4.6 Características del depósito de seguridad (Remosa, 2009).

Referencia	Volumen	Diámetro, mm	Longitud, mm	PVP (€)
DAN 3.5	3.500	1.600	2.140	1.400
DAN 8	8.000	2.110	2.900	2.525
DAN 10	10.000	2.110	3.620	3.550
DAN 15	15.000	2.000	5.290	4.450
DAN 21.5	21.500	2.500	4.800	5.375
DAN 40	40.000	2.500	8.700	8.600

Una vez escogida la estación que mejor se adapte a las características del proyecto se debe proseguir con los requerimientos constructivos. Estos son similares a los del sistema GREM, tanto a nivel de instalación como de mantenimiento, a excepción del depósito de almacenamiento de las aguas regeneradas y de la necesidad de disponer de un cuadro eléctrico de 380V.

Mientras que el depósito se encontraba incorporado en la estación GREM, formando un sistema compacto que permitía menores costes de instalación y una mayor facilidad de montaje, el depósito de la estación ROXPLUS está separado. La Tabla 4.7 muestra las diversas opciones de ubicación en función del volumen de agua regenerada (Remosa, 2009).

Tabla 4.7 Depósito de acumulación de aguas regeneradas (Remosa, 2009).

Referencia	Volumen	Diámetro, mm	Longitud, mm	PVP(€)
CROXPLUS 10 D2	10.000	2.000	3.700	3.050
CROXPLUS 20 D2.5	20.000	2.500	4.910	4.950
CROXPLUS 30 D2.5	30.000	2.500	6.650	5.950
CROXPLUS 40 D2.5	40.000	2.500	8.700	7.300
CROXPLUS 60D3	60.000	3.000	9.460	10.875
CROXPLUS 100 D3	100.000	3.500	11.200	21.500

Los equipos de regeneración de aguas grises suministrados por Remosa cumplen las siguientes especificaciones medias de rendimiento que se muestran en la Tabla 4.8 y 4.9. La Tabla 4.8 muestra la calidad del afluente considerada para el diseño de la Estación regeneradora ROXPLUS.

Tabla 4.8 Características del afluente consideradas para el diseño de la estación regeneradora ROXPLUS (Remosa, 2009).

Parámetros	Concentración
DBO5	350 mg/L
DQO	500 mg/L
MES	300 mg/L
Turbidez	245 UNT
Nitrógeno total	60 mg/L
Escherichia Coli	5 x 10 ⁷ ufc/100mL

La Tabla 4.9 resume la calidad del agua regenerada producida por la estación regeneradora ROXPLUS.

El agua regenerada obtenida es impulsada mediante una bomba existente en el depósito de agua regenerada para su utilización en la descarga de aparatos sanitarios o el uso de sistemas de riego.

Tabla 4.9 Características del agua obtenida mediante la estación de regeneración ROXPLUS (Remosa, 2009).

Parámetros	Calidad del agua	Rendimiento de eliminación
DB05	< 15 mg/L	96%
DQ0	< 50 mg/L	90%
MES	< 2 mg/L	99%
Nitrógeno total	< 15 mg/L	75%
Turbidez	< 1 UNT	99%
Escherichia Colí	< 100 ufc/100 mL	6 (unid-log)
Escherichia Colí	0 ufc/100 mL	8(unid-log)

A diferencia del sistema GREM, la recogida de aguas pluviales no debe conectarse al sistema ROXPLUS para no variar el tiempo de retención del efluente que provocaría la disminución de sus rendimientos. El agua puede desbordar por exceso de caudal admisible a la depuradora, siendo evacuada hacia la red de alcantarillado.

La Figura 4.12 muestra un esquema de ambos sistemas de regeneración, en el que se especifican los tratamientos que recibe el agua así como la calidad obtenida.

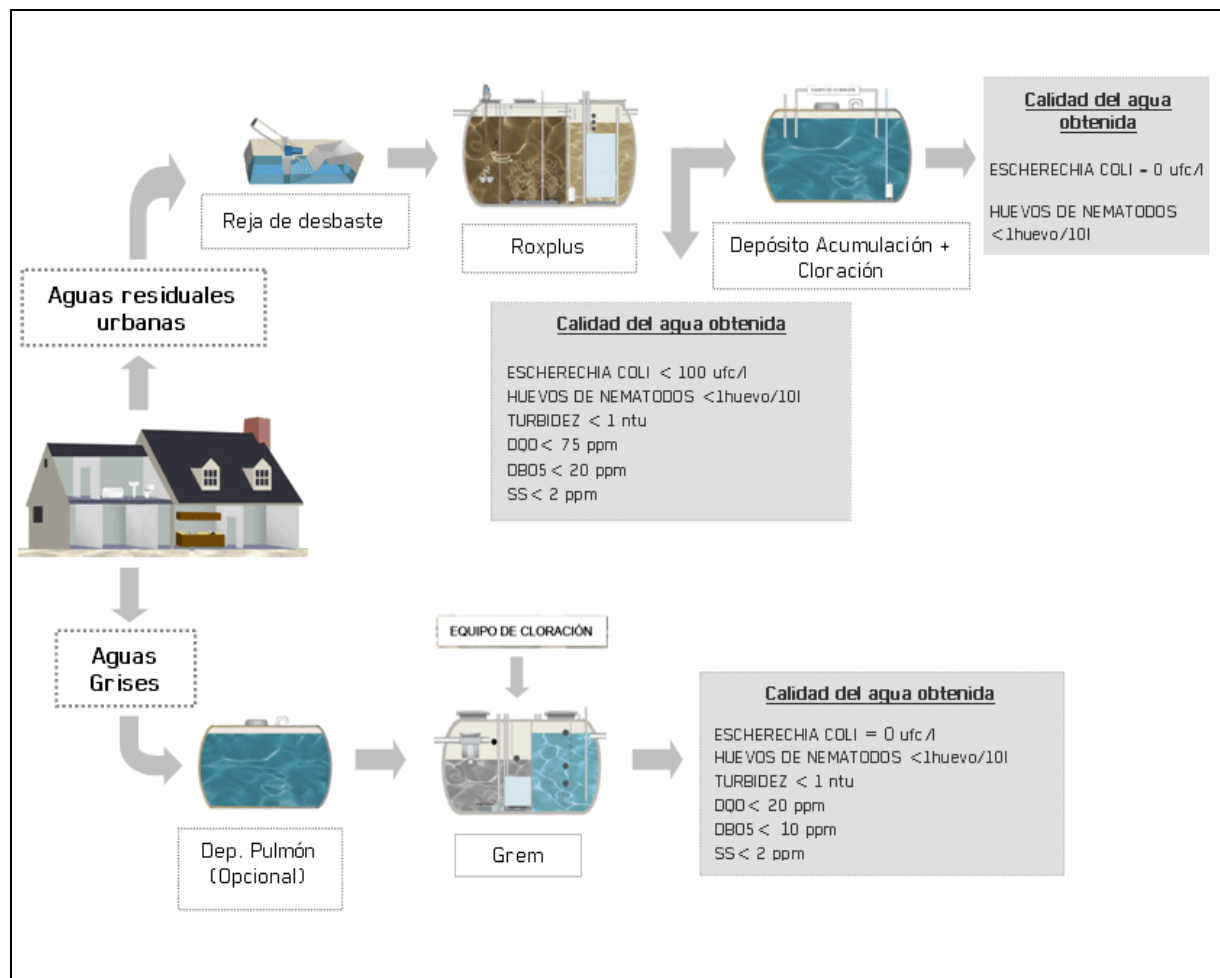


Figura 4.12 Proceso de tratamiento y calidad del agua regenerada obtenida con los dos sistemas de regeneración de aguas de Remosa (Remosa, 2009).

CAPÍTULO 5

DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

5.1 INTRODUCCIÓN

Desde los orígenes, las personas han procurado habitar edificios que les pudieran aportar un ambiente interior cómodo y saludable, correctamente diseñados y construidos para adaptarse al clima del lugar. Pero el diseño de edificios con un excelente comportamiento ambiental puede ser una tarea bastante compleja y laboriosa. Hay preguntas, por ejemplo, ¿cómo será el clima típico en invierno y verano en este lugar específico?, ¿qué temperatura habrá en este local durante un día típico de verano? o ¿qué nivel de iluminación habrá durante un día cubierto de invierno? Sin embargo, la dificultad de conocer los datos y la compleja dependencia de sus variables hace que ninguna de ellas tenga una respuesta sencilla.

Si además se pretende que el edificio tenga un comportamiento pasivo o consuma muy poca energía, será conveniente aplicar un enfoque de diseño bioclimático orientado a garantizar el uso racional de los recursos naturales y la gestión de los residuos, procurando la reducción del consumo de recursos no renovables y de la contaminación del medio ambiente.

Siempre será más rentable aplicar un mayor esfuerzo en la fase de proyecto y una adecuada inversión en el proceso constructivo como forma de garantizar un elevado bienestar para los usuarios y una rápida amortización de las inversiones, gracias al ahorro que se conseguirá en gastos de mantenimiento y conservación.

5.2 LUGAR DE ESTUDIO

La isla de Tenerife se sitúa a una distancia de más de 1.000 km de la península ibérica, tiene planta triangular, es la más extensa (2036 km²) y también la más alta (3718 m) del archipiélago canario y presenta un perfil altitudinal piramidal, a lo largo del cual se registra una gran variedad de situaciones climáticas.

El municipio de La Victoria de Acentejo, está situado en la vertiente septentrional de la isla; ocupa 18,2 km² y está situado a una distancia de Santa Cruz de Tenerife de unos 27 km. Su forma se asemeja a la de un trapecio, orientada la base menor hacia el mar y la mayor hacia la cumbre. Por el norte limita con el municipio de La Matanza de Acentejo, junto al barranco de San Antonio; por el sur con el municipio de Santa Ursula, junto a Barranco Hondo; al este con la cumbre, siendo la Cordillera Dorsal el límite entre este municipio y los de Candelaria y Arafo.

El relieve del municipio es muy accidentado. Las pendientes presentan inclinaciones del 10 al 30%, aunque éstas se suavizan a medida que nos acercamos a la costa. Su orografía está surcada por numerosos barrancos, como Barranco Hondo y Barranco de San Antonio, al que en parte de su trayecto se unen los de Bobadilla y Marta, donde hay galerías de agua utilizadas para los regadíos del municipio. El resto de barrancos son de menor importancia,

pero contribuyen a formar el paisaje característico del municipio. Las máximas alturas del relieve victoriero son las de Las Lagunetas, con 1.500 m de altitud, La Morra con 1.600 m y El Risco Negro con 1.400 m.

La Figura 5.1 muestra una vista aérea de la parcela objeto de estudio, en el municipio de Victoria de Acentejo. Tiene forma irregular y linda al Norte con la calle de La Resbala, al sur con el cauce de un barranco, al Este con la Calle Banquetas y al Oeste con edificación existente. Presenta una fuerte pendiente ascendente hacia el este, ya que en la actualidad se encuentra aterrazada por unas antiguas terrazas de cultivo ahora en desuso. También tiene cierta pendiente hacia el sur, ya que en este borde se sitúa el lindero con el barranco.



Figura 5.1. Vista aérea de la parcela estudiada, en el municipio de Victoria de Acentejo.

El Plan General de Ordenación Urbana que afectará al municipio se está desarrollando en la actualidad y, en principio, organiza la parcela objeto de estudio en la categoría de Edificación cerrada de 2 plantas de altura y con un trazado viario que la divide en dos partes prácticamente iguales. La Figura 5.2 muestra la ocupación del suelo estimada por el Plan General de Ordenación Urbana (Reymndo Izard,A., 2008).

La parcela estudiada se divide con un peatonal Norte-Sur que va desde la calle de la Resbala hasta el borde del barranco, lo que genera unas manzanas con una profundidad media de unos 30 m, con fachadas orientadas sólo al Este o sólo al Oeste, sin posibilidad de ventilaciones cruzadas eficaces.

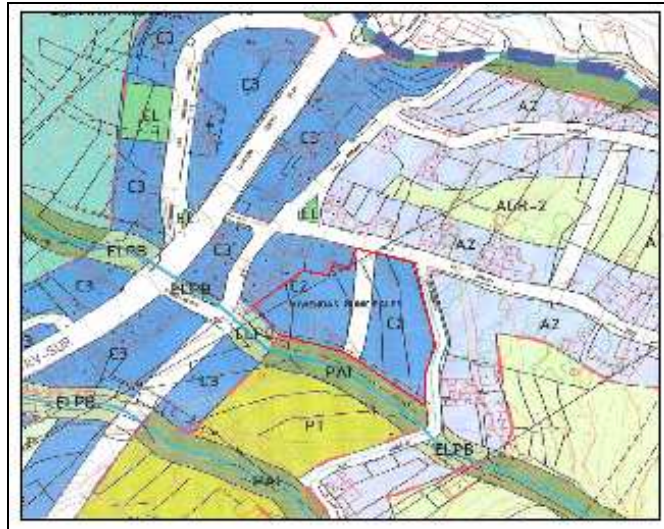


Figura 5.2. Plan General de ordenación Urbana del Municipio de Victoria de Acentejo (Reymndo Izard,A., 2008).

Un recurso escaso en esta zona como es el suelo debería aprovecharse dando más altura a la edificación (lo que supone mayor eficacia de las instalaciones) permitiendo así liberar espacio para uso público y plantación de zonas verdes. Así pues, los estudios previos realizados recomiendan cambiar el trazado de la zona peatonal para conseguir manzanas mejor orientadas, que no obstruyan la radiación solar, ni siquiera en las plantas bajas de las viviendas, y que contemplen viviendas con dos posibles orientaciones (Sur y Norte) que faciliten las necesarias ventilaciones cruzadas (Reymndo Izard,A., 2008).

Los estudios proponen aumentar la densidad de edificación a 4 plantas, aunque poniendo especial cuidado en su morfología para conseguir una adecuada adaptación desde el punto de vista de la topografía y del paisaje. Se ha demostrado que un edificio tipo de viviendas de 4 plantas de altura tiene una alta eficacia para aprovechar y rentabilizar al máximo los recursos como el suelo, las instalaciones (tanto del espacio público como las del propio edificio) y los colectores de agua caliente sanitaria. Además, son tipologías que fomentan las relaciones sociales. La superficie total aproximada de la parcela afectada por este estudio es de 5.337 m², de los cuales 3.821 m² van destinados a viviendas y los 1.516 m² restantes a equipamientos. La Tabla 5.1 muestra la distribución de espacios prevista en la parcela (Reymndo Izard,A., 2008).

La parcela es atravesada por un canal que la divide en una parte más alta (la oriental, que da directamente a la calle de La Resbala) y una parte más baja y más pequeña, ambas con unas vistas excelentes al viñedo y a la zona de medianía y cumbre. La parte oriental de la misma acogería los edificios de viviendas propuestos (se calculan aproximadamente unas 60 uds. de apartamentos para jóvenes o personas mayores de 65 años), mientras que la parte más pequeña de la parcela (la zona occidental) se reservaría a equipamientos urbanos para satisfacer determinadas necesidades del entorno sin necesidad de recurrir al transporte público o privado. Se propone la creación de una guardería y un centro de día para ancianos, de modo que ambos edificios compartan un espacio público que propicie el encuentro entre las dos generaciones (Reymndo Izard,A., 2008).

Tabla 5.1. Distribución de superficies de la parcela estudiada. Municipio de Victoria de Acentejo (Reymndo Izard, A., 2008).

Espacio destinado a viviendas		
Sótano		1.553,00 m ²
Bloque 1	265,00 m ²	
Bloque 2	527,51 m ²	
Bloque 3	527,51 m ²	
Rampas cubiertas	232,98 m ²	
Viviendas		3.485 m ²
Bloque 1	701,00 m ²	
Bloque 2	1.392,00 m ²	
Bloque 3	1.392,00 m ²	
Acondicionamiento parcela		2.268 m ²
Espacio destinado a equipamientos		
Guardería	200	
Centro de día	200	
Cafetería	100	
Acondicionamiento parcela		1.216 m ²

La organización en planta de cada uno de los portales de los distintos edificios se resuelve con tres viviendas por planta: dos de dos dormitorios (con dos fachadas, Norte y Sur, para poder beneficiarse de las ventilaciones cruzadas) y una tipo loft, que dispondrá de una fachada Sur y establecerá la ventilación cruzada entre esta fachada y la caja de escaleras, cuyo diseño favorecerá dicha ventilación (Reymndo Izard, A., 2008).

La Figura 5.3 muestra la ubicación de los edificios escalonados en la sección de tal forma que ninguno de ellos impida que el que se situado más al norte pueda obtener la radiación solar necesaria durante los meses más fríos (Reymndo Izard, A., 2008).

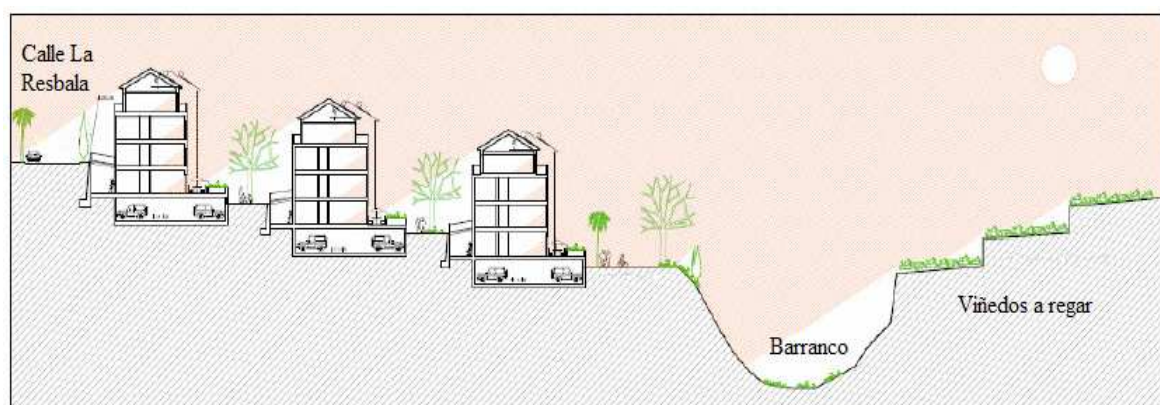


Figura 5.3. Sección de la ubicación de los futuros edificios. Municipio de Victoria de Acentejo (Reymndo Izard, A., 2008).

A lo largo de este capítulo se estudiarán las diferentes características de la parcela para determinar cuáles de ellas son favorables, y hay que aprovechar al máximo, y cuáles son desfavorables, y requerirán la introducción de medidas correctoras.

La accidentada topografía y la diversidad microclimática de la isla de Tenerife hacen que el conocimiento de la distribución espacial y temporal de sus variables climáticas deba basarse en una red de control mucho más densa que la existente en el medio continental. La distribución de estaciones meteorológicas en la isla ha respondido a la necesidad de obtener datos relevantes para las actividades con mayor repercusión en el territorio insular (turismo, agricultura y transporte aéreo); esto ha hecho que se hayan localizado, preferentemente, en las zonas más pobladas de la isla, con una ausencia casi absoluta en las áreas forestales y de alta montaña.

Asimismo, será conveniente disponer de la medida de las variables climáticas que intervienen en el balance hídrico de superficie como la humedad relativa, la precipitación, la velocidad y la dirección de viento, la radiación y la evaporación.

Para determinar la severidad del clima se ha utilizado la estación meteorológica de La Orotava, la cual está situada muy cerca y tiene unas condiciones climáticas similares. La Figura 5.4 muestra la localización de las estaciones que registran información climática.

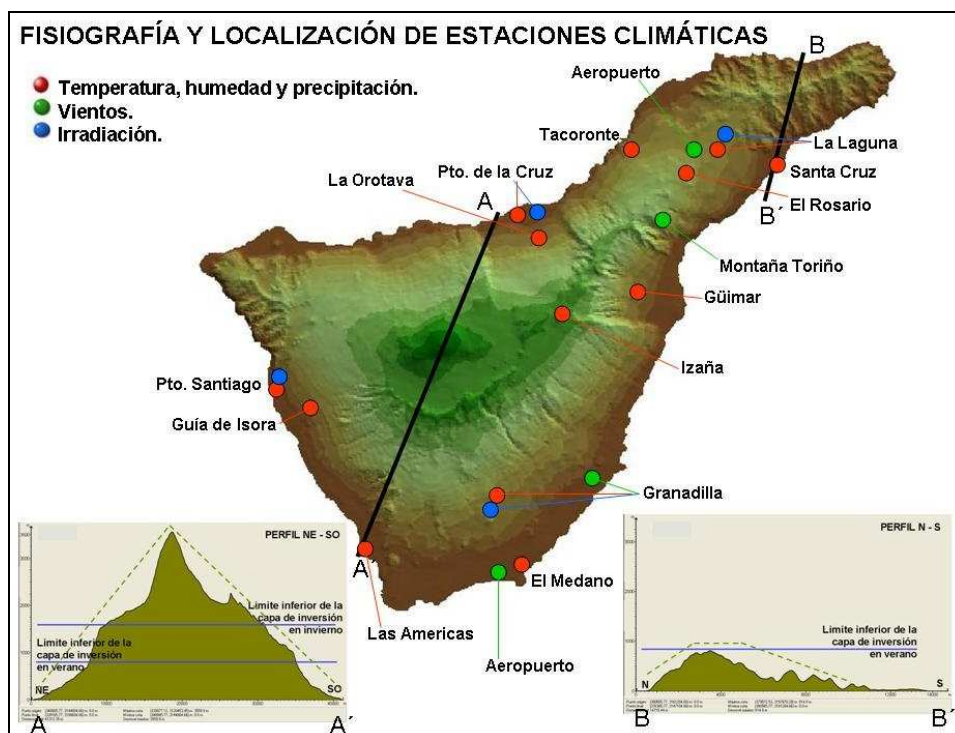


Figura 5.4 Localización de las estaciones con información sobre el confort térmico. (Manual de Arquitectura Bioclimática para Canarias (MABICAN), 2008).

5.3. VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

Temperatura

Temperatura media diaria

La temperatura del aire es resultado de la combinación de la temperatura del aire de origen, de su recorrido, del balance de radiación sobre la superficie y de la transmisión o intercambio de calor (por convección y conducción) entre el suelo y la capa inferior de la

atmósfera. Esto explica su variación según el tipo de tiempo, a lo largo del año y entre el día y la noche (MABICAN, 2008).

La variación de la temperatura media en Tenerife es resultado de la variación inter-insular e intra-insular. La variación inter-insular está correlacionada con la distancia al continente, mientras que la variación intra-insular depende más bien de la altitud y de la orientación (norte o sur) (MABICAN, 2008). La Figura 5.5 muestra la variación de la temperatura media anual en la isla de Tenerife; se puede observar como la temperatura disminuye con la altitud, siendo las zonas altas del Teide las que alcanzan los valores más bajos, al cubrirse de nieve una o dos veces al año como frecuencia media.

Otro componente de la variación de temperatura es el periodo del año considerado, registrándose las temperaturas más altas en verano y las más bajas en invierno, condicionadas por la radiación y por la temperatura de la mayoría de las áreas del archipiélago. Para valorar los recursos climáticos de un área, en relación con el confort térmico, no basta con conocer la temperatura media diaria, sino que se precisa conocer el valor de su oscilación y especialmente el valor medio de sus máximas y de sus mínimas diarias.

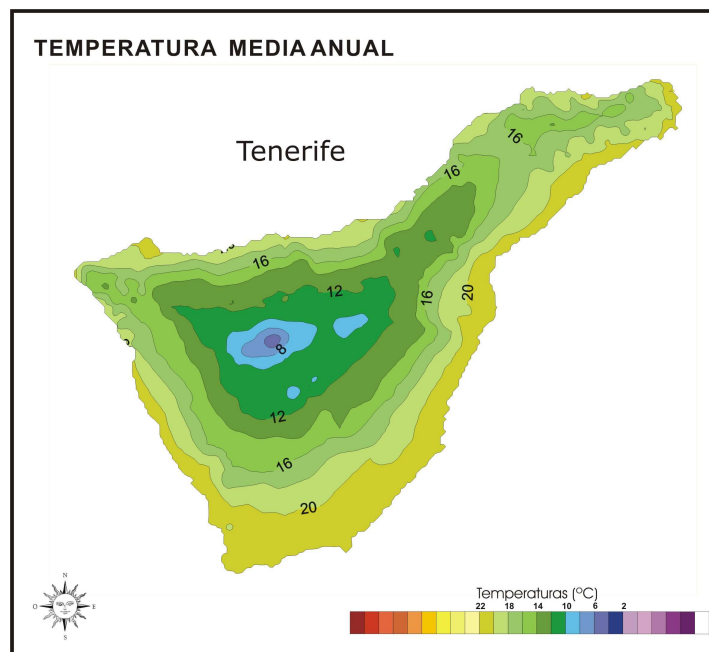


Figura. 5.5. Temperatura media anual en la isla de Tenerife (MABICAN, 2008).

Temperaturas máximas diarias.

La temperatura durante el día depende fundamentalmente de la intensidad de la radiación solar, condicionada por la latitud la topografía, la época del año y de la nubosidad. De los factores referidos, la radiación es el más limitante, como lo evidencia el que las máximas diarias coincidan con el verano, cuando es mayor la radiación; y ello a pesar de que durante esta época el efecto protector de la radiación de la capa de nubes es más intenso, lo que contribuye a que no aumente más la temperatura y pese a la presencia constante del alisio, que es un viento fresco.

Las temperaturas máximas diarias se ven condicionadas por los vientos catabáticos cálidos, como los que se producen cuando el alisio sobrepasa las cordilleras y comienza a descender al no estar impulsado por las laderas. Otros factores son el tiempo sur y el mar de nubes que condiciona la radiación solar durante el día y la radiación calorífica durante la noche (MABICAN, 2008).

Temperaturas mínimas diarias. Media mensual de las temperaturas.

Los valores más bajos de la temperatura se registran durante la noche debido a que la irradiación nocturna no está compensada por la radiación solar, siendo tanto el enfriamiento durante la noche cuanto menor es la presencia de nubes que dificulten la irradiación nocturna; este proceso es mínimo cuando existen nubes que lo dificultan como sucede cuando se registra un “mar de nubes”. Influyen también la densidad de la capa de aire y el grado de humedad, que explican que las mínimas estén relacionadas negativamente con la altitud (MABICAN, 2008).

Otro factor condicionante de la temperatura mínima en Tenerife es la temperatura del mar, cuyo efecto se evidencia particularmente por las noches, provocado por la correlación entre las temperaturas medias de las mínimas y la distancia a la corriente fría de Canarias particularmente durante el verano. Sin embargo, ésta correlación no se evidencia por el día, debido a que la temperatura se ve afectada por la nubosidad (MABICAN, 2008). La Figura 5.6 muestra la variación absoluta existente entre las temperaturas medias en invierno (mes de enero) y verano (mes de agosto).

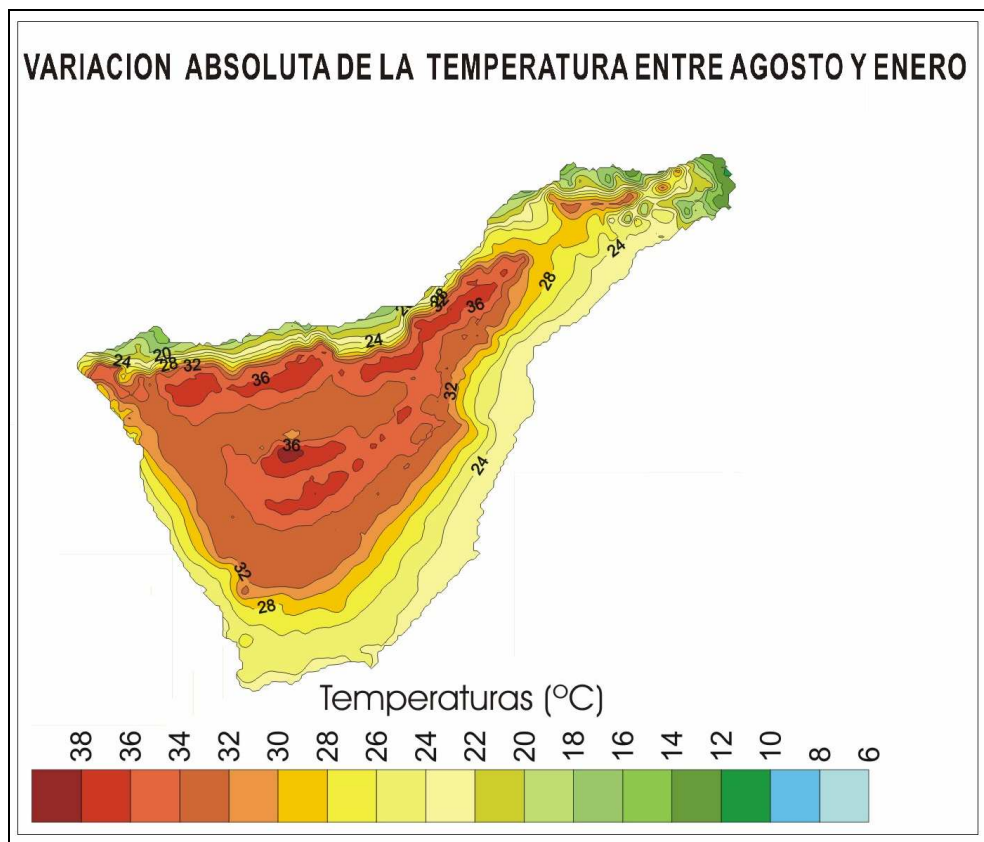


Figura 5.6 Variación absoluta de la temperatura entre agosto y enero en la isla de Tenerife (MABICAN, 2008).

La Tabla 5.2 muestra un resumen de las variaciones de las temperaturas a lo largo de los diferentes meses del año en la estación meteorológica de La Orotava, situada muy cerca y con unas condiciones climáticas similares a las del municipio en estudio.

Tabla 5.2 Temperaturas medias durante los diferentes meses del año en la estación meteorológica de la Orotava (MABICAN, 2008).

La Orotava		Coordenadas UTM (m.): 350.200 - 3.140.300										Altitud 450m	
Temperatura (°C)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Media max. diaria	17,3	17,3	18,7	18,1	19,7	21	22,6	24,5	24,8	22,2	20,2	18,4	20,4
Media min. diaria	10,4	10,5	11,4	11,4	12,4	15,3	16,2	17,1	17,2	15,4	13,4	11,6	13,4
Media mensual	14,2	14,3	15,4	15,1	16,5	17,9	19,6	21,1	21,3	19,1	17,1	15,4	17,3
Media oscilacion d.	6,9	6,8	7,3	6,7	7,3	5,8	6,4	7,3	7,6	6,8	6,8	6,8	6,9

Humedad

La variación de la humedad absoluta en la isla de Tenerife depende de la humedad del aire que accede en cada momento a ella y de la ponderación de fenómenos de inversión, que se traducen tanto en nubes como en la diferenciación de dos capas de aire separados por la inversión térmica ligada al alisio: una capa inferior con humedad absoluta relativamente elevada y una capa superior, por encima de la inversión, que presenta normalmente baja humedad absoluta.

La humedad absoluta en la zona costera suele ser del orden de 10 g/m³ en invierno y de 15 g/m³ en verano, que se corresponde con los datos del aire tropical. Desciende con la altura sólo ligeramente dentro de la capa de aire húmedo situado por debajo de la capa de inversión (MABICAN, 2008). El patrón de variación de la humedad relativa es más complicado, pues depende de la humedad absoluta y de la temperatura.

La Tabla 5.3 muestra un resumen de las variaciones de la humedad (%) a lo largo de los diferentes meses del año en la estación meteorológica de La Orotava.

Tabla 5.3. Humedad media durante los diferentes meses del año en la estación meteorológica de la Orotava (MABICAN, 2008).

La Orotava		Coordenadas UTM (m.): 350.200 - 3.140.300										Altitud 450m	
Humedad (%)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Media max. diaria	89	91	91	93	92	92	93	94	93	93	92	91	92
Media min. diaria	56	60	58	64	65	68	71	70	67	64	61	60	63,7
Media mensual	72,5	75,5	74,5	78,5	78,5	80	82	82	80	78,5	76,5	75,5	77,8
Media oscilacion d.	33	31	33	29	27	24	22	24	26	29	31	31	28,3

Precipitaciones

El régimen de lluvias en la isla de Tenerife es muy irregular y está íntimamente ligado a la interacción de la topografía, siendo las lluvias más importantes las de carácter chubascoso.

Estas precipitaciones pueden totalizar en unas pocas horas cantidades equivalentes a las que se totalizan en un año, lo que motiva una variación considerable de la cantidad acumulada de lluvia a lo largo del año.

El régimen de distribución de las precipitaciones depende del tipo de tiempo. Durante la segunda mitad del otoño y la primera mitad del invierno, la invasión de aire polar marítimo produce temporales de lluvia importantes ligados al relieve, que generan lluvias de corta duración. La calificación de un año lluvioso se alcanza cuando aumentan los temporales, mientras que la calificación de año seco se obtiene cuando no se registran un par de temporales al año.

Los alisios son frecuentes e intensos durante el verano, formándose una capa de estratocúmulos que puede superar los 1.000 m de espesor, aunque las condiciones de estabilidad hacen que las precipitaciones sean poco importantes, limitando a precipitaciones ligeras. Las lluvias más copiosas, aunque poco frecuentes, se asocian a masas tropicales de aire húmedo de componente sur que producen lluvias chubascosas intensas, sin que para ello se precise la actuación del relieve. Basta con las ascendencias del aire en el seno de la perturbación aunque el relieve no sea propicio.

La Figura 5.7 muestra la precipitación media anual en la isla de Tenerife en la que se observa como los valores más altos de las precipitaciones se localizan en la ladera norte y su distribución está asociada no sólo a la altitud, sino también a la distribución media en la capa de inversión durante los periodos de tiempo en que subsisten o se producen masas de aire húmedo inestables (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

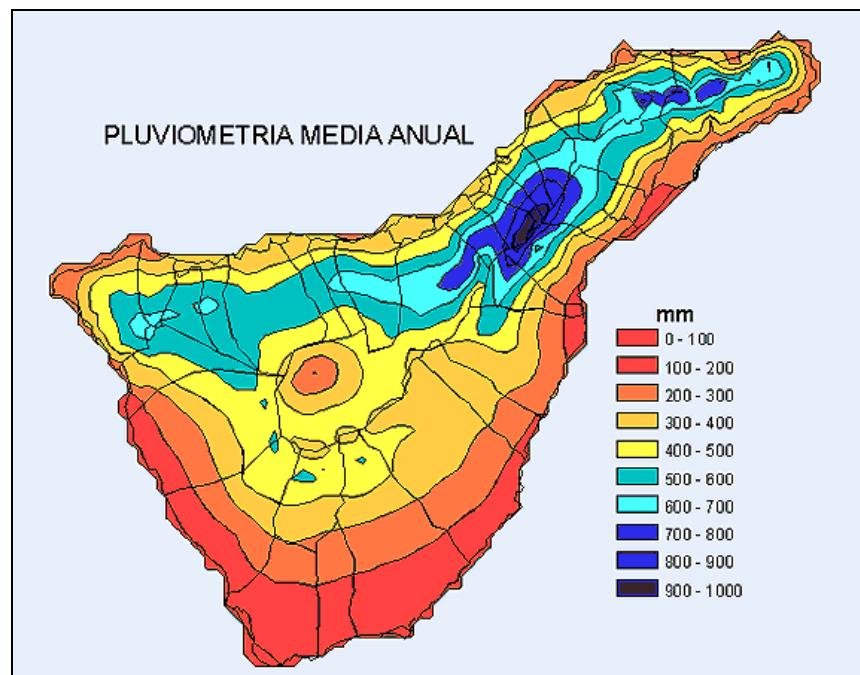


Figura.5.7. Mapa de isoyetas en la isla de Tenerife: pluviosidad media del periodo 1986/87 -1992/93 (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

La precipitación media insular es de unos 394 mm/año. En el mapa de isoyetas medias elaborado para el período comprendido entre 1987 y 1993 se aprecia un aumento gradual de la pluviosidad desde la costa hasta la cumbre, invirtiéndose esta tendencia por encima de los 2.000 metros de altitud. La máxima pluviosidad, con medias superiores a los 1000

mm/año, se alcanza en las cumbres de la dorsal noreste, concretamente sobre los municipios de La Matanza y La Victoria. Por el contrario, la costa del sur es la zona más seca de la Isla, con una precipitación media de unos 150 mm/año (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Un análisis del régimen de lluvias de los últimos ochenta y cuatro años (1921 y 2004) muestra la escasez de lluvias padecida entre 1931 y 1948, a la que siguió una década excepcionalmente húmeda y con abundantes precipitaciones como fueron los años cincuenta. Desde entonces, la precipitación media ha mantenido una tendencia descendente, especialmente acusada en la última década, en que ha sido un 13% menor que la media del periodo total analizado. Este fenómeno medio acumulado es contrario al de los valores puntuales máximos. El último lustro ha registrado lluvias torrenciales como no se conocían en Tenerife (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

La Figura 4.8 muestra la evolución de las lluvias registradas entre los años 1921 y 2004 en la isla de Tenerife, obteniendo la precipitación media insular y la media móvil de cada 5 años (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

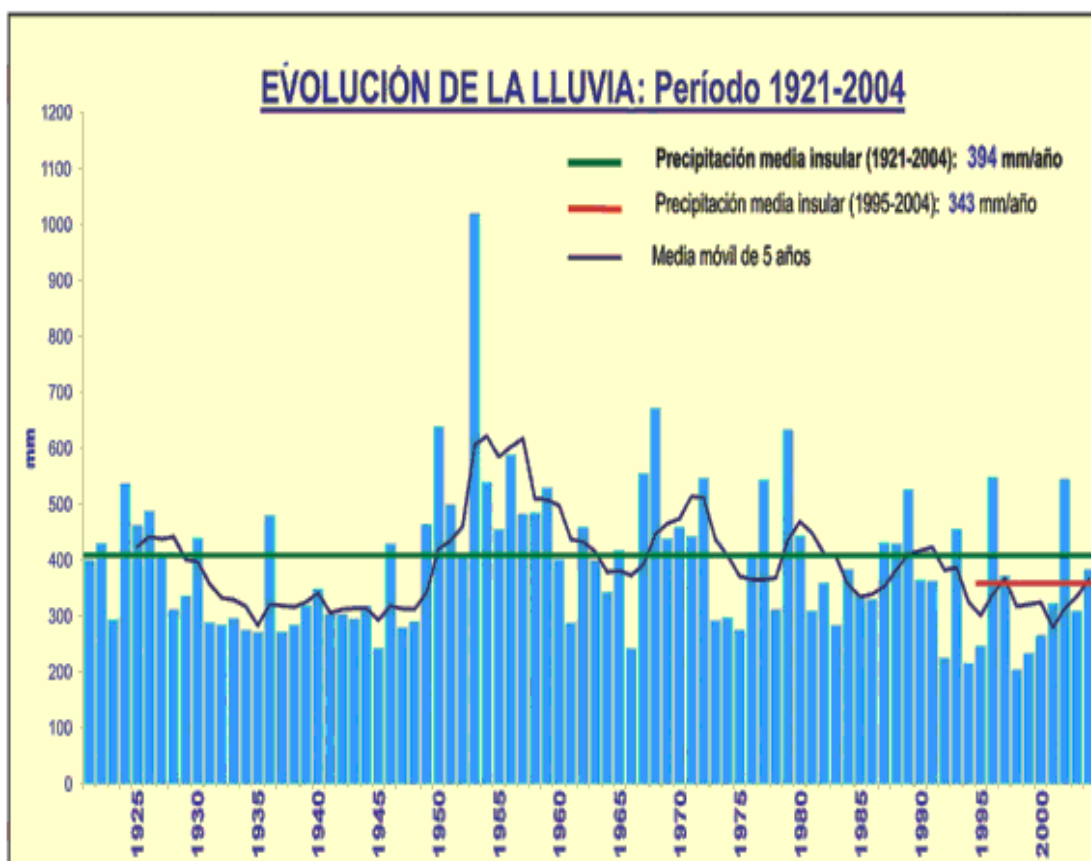


Figura 5.8. Evolución de la precipitación durante el periodo de 1921 a 2004 en la isla de Tenerife (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

La Tabla 5.4 muestra un resumen de la variación de las precipitaciones medias mensuales a lo largo de los diferentes meses del año en la estación meteorológica de La Orotava (MABICAN, 2008).

Tabla 5.4. Precipitación media de los diferentes meses del año en la estación meteorológica de la Orotava (MABICAN, 2008).

La Orotava		Coordenadas UTM (m.): 350.200 - 3.140.300										Altitud 450m	
Precipitación (mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Media mensual	74,3	46,9	54,4	34	26,2	10,6	2,8	3,2	22,7	47,3	74,9	76,2	473,6

Escorrentía superficial

La escorrentía superficial es la parte de la precipitación que discurre por los cauces. Su formación está condicionada por la cantidad de lluvia recibida y por el umbral de escorrentía (P_o) a partir del cual se inicia. El valor de este parámetro (P_o) está ligado a las características intrínsecas del suelo, además de la influencia de otros factores como son la pendiente, el tipo de uso asociado a éste y la densidad y el tipo de cubierta vegetal.

Un modelo de simulación hidrológica superficial ha permitido evaluar la cuantía de la escorrentía superficial. La Figura 5.9 detalla su distribución territorial (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

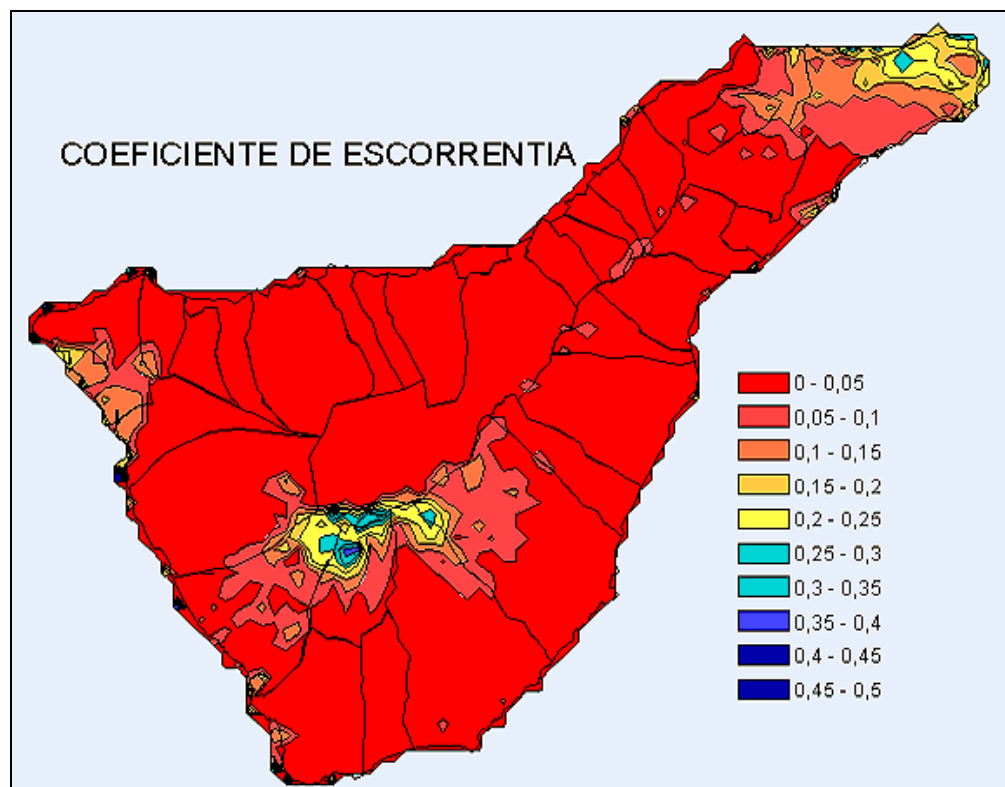


Figura 5.9 Mapa de isolíneas de coeficiente de escorrentía en la isla de Tenerife. Periodo: 1986/87 -1992/93 (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Infiltración

La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo. El agua de infiltración que se deduce de la resolución del balance hídrico es aquella que

supera la retención superficial y alcanza subsuelos más profundos, conectando bien con acuíferos colgados o con el sistema acuífero general; es decir el agua de recarga.

El modelo de simulación hidrológica superficial de la isla de Tenerife permite evaluar, en cada porción de territorio, cada uno de los términos de la ecuación del balance hídrico de superficie y en particular la infiltración, que es el elemento más indeterminado de los que componen dicha ecuación. Por integración de estos valores se estima que la infiltración insular en un año medio es de 175 mm/año (equivalente a 357,8 hm³). Definida porcentualmente, viene a ser algo menos de la mitad de la precipitación (44%) (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

La Figura 5.10 muestra el mapa de isolíneas de infiltración en la isla de Tenerife en el que se observa la correspondiente distribución territorial de la recarga de lluvia, poniendo de manifiesto el efecto redistributivo que ejerce el fenómeno de la infiltración en los cauces sobre la recarga, agrupando o distanciando isolíneas según la intensidad del fenómeno.

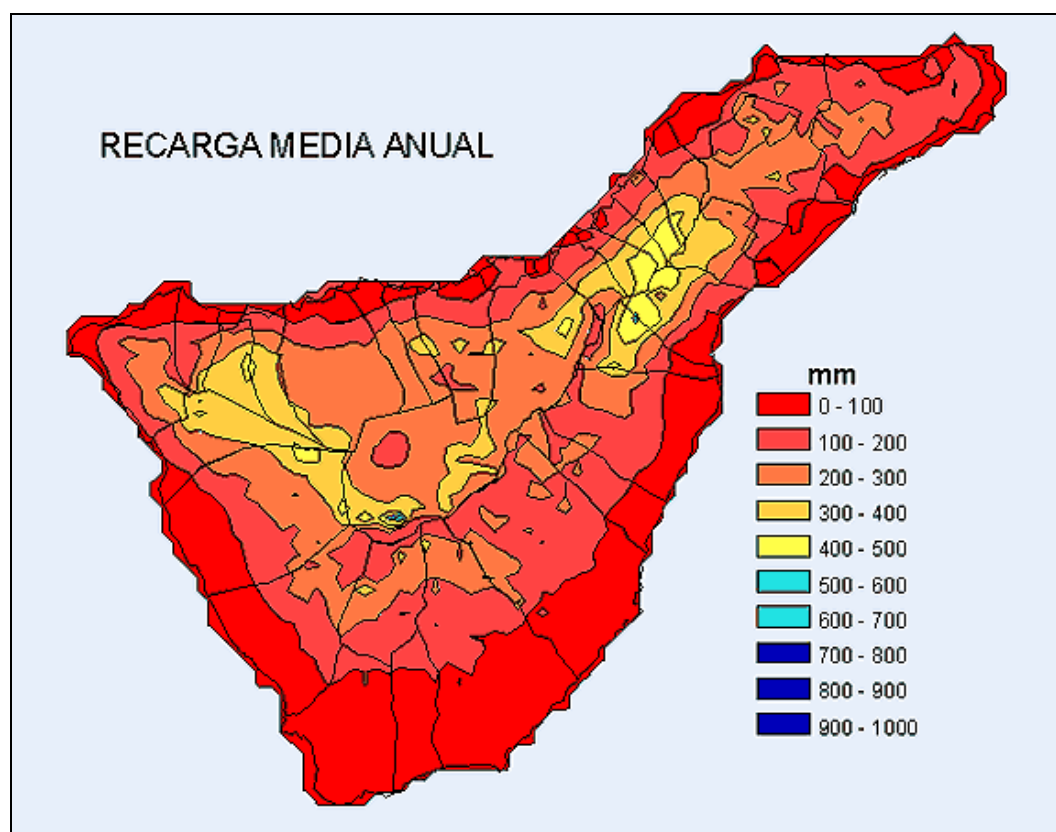


Figura 5.10. Mapa de isolíneas de recarga de lluvia en la isla de Tenerife. Media del periodo 1986/87 -1992/93 (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Viento

Los vientos más constantes en Tenerife son los alisios del N.E., los vientos del oeste ligados a las borrascas atlánticas y los vientos del sur que aportan aire cálido y polvo del continente africano conocidos como “calima” (MABICAN, 2008).

Los vientos más frecuentes son los vientos alisios de NE, su dirección varía según que soplen por la capa inferior de la inversión o por encima en la capa superior, a media altura o a gran altura. La velocidad del viento se ve afectada por la situación sinóptica, aunque el

principal factor es la topografía. La velocidad media del viento es similar en verano y en invierno, debido a la constancia de los alisios, si bien pueden darse situaciones puntuales en las cuales pueden superar los 100 km/h (MABICAN, 2008).

Los vientos generales se ven alterados por la topografía, motivando la diferencia entre barlovento y sotavento, así como por los efectos de la fisiografía, los vientos locales de mar a tierra y de tierra a mar, y los que se producen siguiendo los valles de forma ascendente o descendente. Las características topográficas pueden motivar un aumento de la velocidad del viento por efectos diversos. Otros vientos locales son los ligados a las brisas del verano y el invierno, así como los vientos catabáticos fríos y cálidos.

Radiación

La radiación mide la cantidad de energía electromagnética que llega a un lugar. Está integrada por varios componentes: la radiación directa, la radiación reflejada por las nubes o radiación difusa y la radiación reflejada por la superficie terrestre en forma de albedo. El conjunto de estas tres componentes, forman la radiación global. La radiación neta es igual a la radiación incidente menos la reflejada. La radiación se puede medir en forma de una potencia, que representa una magnitud instantánea, expresada en W/m^2 o, en términos de energía en forma de la radiación acumulada durante un periodo de tiempo kWh/m^2 .

La Figura 5.11 muestra los planos que más radiación solar reciben durante los meses fríos son los situados al Sur, seguidos de los de la cubierta y de los orientados sureste y suroeste. También puede verse que, para esta misma orientación SUR, la radiación solar recibida en verano es la mínima (Reymndo Izard,A., 2008).



Figura 5.11. Aportes solares durante un día despejado (Reymndo Izard,A., 2008).

Considerando que en verano no conviene tener aportes solares (no necesitamos radiación solar, sino todo lo contrario) y que además los huecos en cubierta son difíciles de proteger

y mantener, se puede concluir que la mejor opción es disponer el máximo de estancias habitables con su fachada orientada al SUR.

La Figura 5.12 ilustra la carta solar cilíndrica para la latitud canaria y muestra el recorrido del sol durante todos los meses del año (Reymndo Izard,A., 2008). Con ella podemos calcular los aportes de radiación solar que penetran por los huecos de las distintas fachadas de las edificaciones, así como calcular las sombras proyectadas que producirán los edificios próximos en las fachadas de cada edificio durante cada mes del año. Este aspecto es especialmente importante durante los meses más fríos, en los cuales nos interesa captar el máximo de radiación solar posible.

Esta carta ha permitido obtener la proyección de sombras durante el mes de diciembre, que es cuando, según el diagrama de confort de Givoni, necesitaríamos aportes solares. De este modo es posible comprobar el comportamiento térmico del edificio durante el mes en que más inclinado está el sol y, por tanto, más sombras arroja.

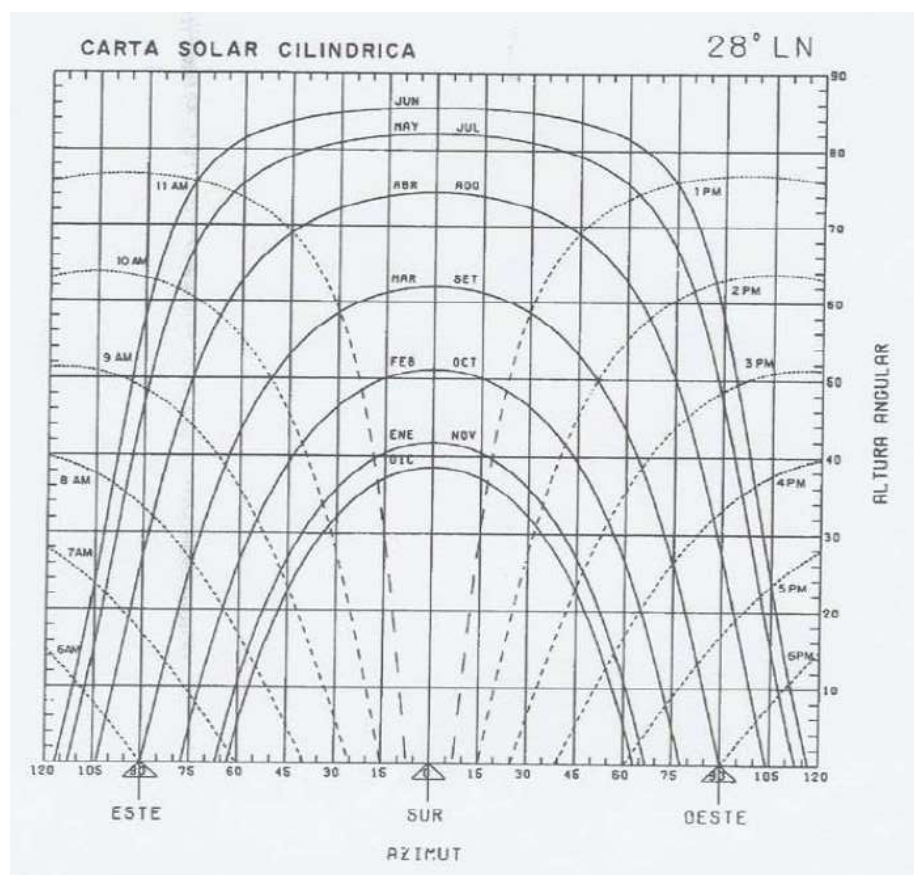


Figura 5.12. Carta solar cilíndrica para una latitud como la de la isla de Tenerife (Reymndo Izard,A., 2008).

También es posible según el recorrido solar en verano, especialmente para analizar las protecciones solares más adecuadas durante los meses más cálidos. Esto permite identificar cuáles van a ser las fachadas más expuestas y con qué inclinación incidirán los rayos del sol sobre ellas. La Figura 5.13 muestra la radiación solar incidente en el bloque de viviendas propuesto tanto en verano como en invierno (Reymndo Izard,A., 2008).

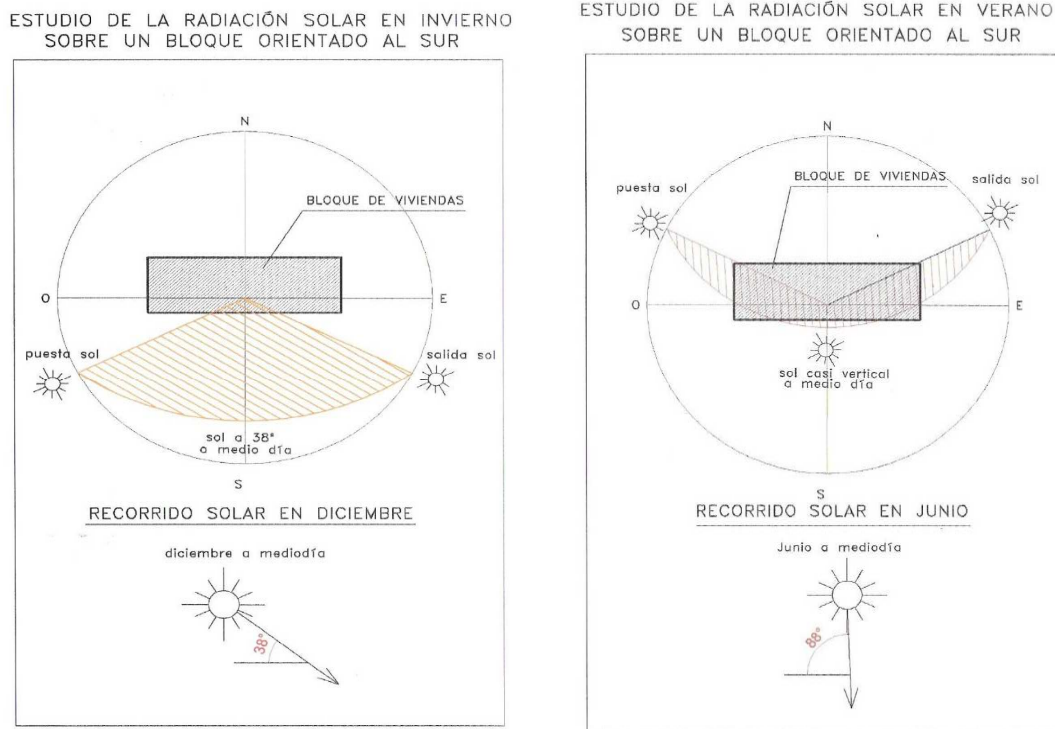


Figura 5.13. Radiación solar en invierno (esquema izquierdo) y en verano (esquema derecho) sobre el bloque de viviendas en el municipio de Victoria de Acentejo (Reymndo Izard,A., 2008).

5.4. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

Las aguas subterráneas continúan siendo la principal fuente de recursos en la isla de Tenerife, representando casi el 90 % de las disponibilidades totales (226 hm³ en 2004) (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009). Sin embargo, esta fuente de agua se enfrenta a dos problemas significativos: la sobreexplotación y el empeoramiento de la calidad.

El consumo de agua está estabilizado. La agricultura, a pesar de haber experimentado una tendencia a la disminución en los últimos años, sigue siendo el principal consumidor; habiéndose incrementado las necesidades de abastecimiento, tanto de la población habitual como de la turística (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

La situación actual de los consumos y demandas lleva a la necesidad de prever nuevas fuentes de suministro, entre las cuales destacan por su capacidad de producción la reutilización de las aguas depuradas y la desalación de agua de mar. Asimismo, es necesario llevar a cabo correcciones sistemáticas de la calidad del agua y mejoras en la red de transporte para evitar las pérdidas. La Tabla 5.5 muestra la disposición en la que se encuentran los recursos hídricos en la isla de Tenerife, así como la asignación para cada forma de consumo (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

El control de la evolución de la calidad del agua, comporta la realización de frecuentes y extensos análisis a lo largo de todas las etapas del ciclo hidrológico insular. En Tenerife, los recursos subterráneos constituyen la principal fuente de suministro para cubrir los

consumos de abastecimiento urbano y el mantenimiento de la agricultura, principales consumidores de agua en la Isla (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Tabla 5.5. Fuentes de agua y usos de la misma en la isla de Tenerife (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Recursos de agua, evolución reciente								
			1991	2000	2004	Distribución		
			hm3/año	hm3/año	hm3/año	1991	2000	2004
Recursos	Convencionales	Superficiales	1	0,5	0,5	0,50%	0,20%	0,20%
		Subterráneos	203	196	197	95,80%	91,00%	87,00%
		Manantiales	8	4	4	3,80%	1,90%	1,80%
	No convencionales	Reutilización	0	8	13	0,00%	3,70%	5,60%
		Desalación	0	7	12	0,00%	3,20%	5,40%

Consumo de agua, evolución reciente							
		1991	2000	2004	Distribución		
		hm3/año	hm3/año	hm3/año	1991	2000	2004
Consumo	Uso agrícola	109,2	103,4	95,1	52,70%	47,80%	42,00%
	Uso urbano	62,7	69,5	81,2	30,20%	32,10%	35,90%
	Uso turístico	14,1	22,3	25	6,80%	10,30%	11,00%
	Uso industrial	5,3	9,4	9,5	2,60%	4,30%	4,20%
	Recursos no utilizados, pérdidas en trasvases y rechazos de aguas salobres	16	11,9	15,6	7,70%	5,50%	6,90%

En relación con los aspectos técnicos-sanitarios que se recogen en el R.D. 140/2003, de 7 de Febrero, tanto los caracteres organolépticos como los físicoquímicos y los relativos a sustancias no deseables o tóxicas, de las aguas de abastecimiento que se vienen usando en Tenerife, están por lo general por debajo de las concentraciones máximas admisibles y, a menudo, en los niveles guía de calidad, aunque puntualmente se detectan incumplimientos

en determinantes parámetros como el flúor, el sodio y los nitratos (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Datos fisicoquímicos

Los valores de los parámetros fisicoquímicos característicos de la calidad del agua subterránea de Tenerife, se han deducido a partir de la media ponderada de las concentraciones de dichos elementos y del caudal extraído en las respectivas obras de captación (pozos y galerías). La Tabla 5.6 muestra estos valores (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Tabla 5.6. Parámetros fisicoquímicos del agua subterránea de la isla de Tenerife en el año 2002 (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

C.E. (μ S/cm)	pH	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Mg ⁺⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
1.214	7	31	46	173	25
Cl ⁻ (mg/L)	CO ₃ ⁼ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)
111	3	549	53	14	0,7

Datos bacteriológicos

Las aguas que discurren a través de la red básica de canales se muestrean de manera sistemática, con una periodicidad anual, tanto para determinar su analítica fisicoquímica como bacteriológica; ello permite, conocer las características de las aguas destinadas a los distintos usos. En ocasiones también se muestrean las aguas que se distribuyen a través de los depósitos de abastecimiento municipales, para valorar la calidad del agua destinada específicamente al consumo humano. La presencia de contaminantes microbiológicos en el agua que circula por las conducciones está fundamentalmente relacionada con problemas estructurales (canales abiertos o insuficientemente estancos), lo que posibilita la contaminación del agua por microorganismos y elementos extraños.

La Figura 5.14 muestra la red de control de la calidad del agua compuesta por 38 puntos localizados en las principales conducciones de agua de la isla de Tenerife (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

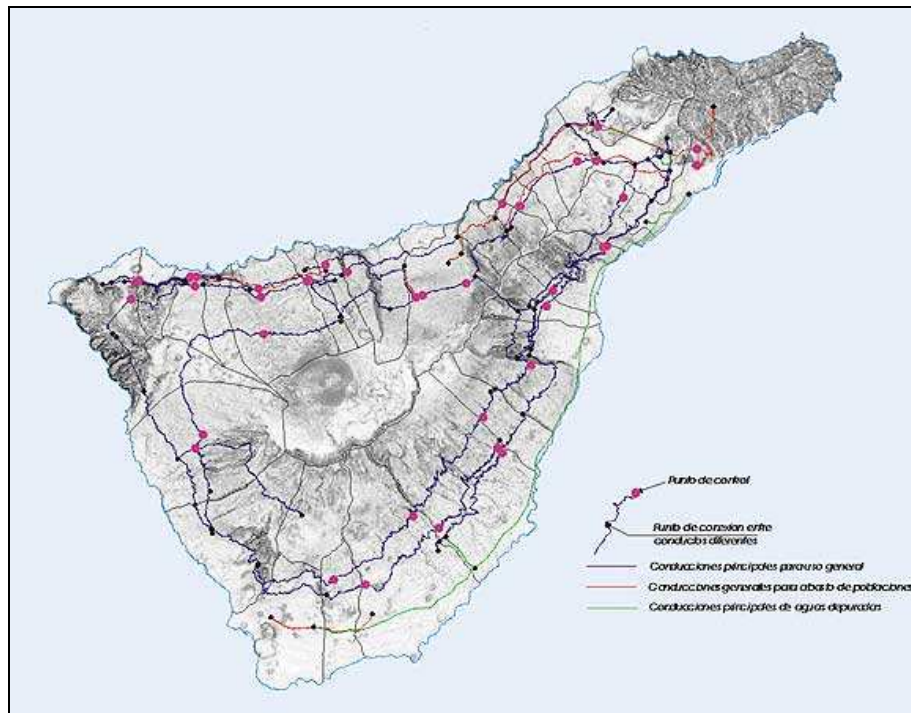


Figura 5.14. Mapa de la red de control de calidad en las conducciones generales en la isla de Tenerife (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Calificaciones

La calificación de la calidad del agua no es posible hacerla de forma global ya que, en todo caso, sería imprescindible diferenciar sus cualidades según los distintos usos para los cuales va a ser destinada. Esto hace que se empleen diferentes criterios de clasificación de las aguas, atendiendo a los siguientes usos: uso urbano (potabilidad), uso agrícola (regadío), efectos potenciales en las instalaciones y estudios geohidroquímicos.

En la isla de Tenerife, las características medias del agua de origen subterráneo, no superan las concentraciones máximas de los principales parámetros químicos, de acuerdo con la nueva Reglamentación de aguas de consumo (R.D. 140/2003, de 7 de febrero).

El agua de regadío se clasifica en la categoría C3-S1, de acuerdo con la clasificación del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (U.S.S.L); además, considerando los criterios específicos (salinidad, alcalinidad y toxicidad iónica) que definen su grado de aptitud, se trata de un agua cuya aplicación debe realizarse con ciertas restricciones y en condiciones adecuadas de gestión.

En relación con el proyecto y el mantenimiento de las instalaciones de conducción y tratamiento del agua, tiene especial interés la aplicación de los índices de Langelier y Riznar. De acuerdo con estos índices, el agua puede considerarse como ligeramente incrustante (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Por último, según la clasificación geohidroquímica de Schöeller, se trata de un agua del tipo "641- 3b - 5 a Bicarbonatada Sódica"(Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Datos económicos del agua

El agua en la Isla de Tenerife es un bien escaso, dado que el volumen demandado es superior al de su disponibilidad. La vigente legislación básica de Régimen Local confiere a los Ayuntamientos la competencia para el abastecimiento de agua a la población, calificando el servicio como de obligada prestación y permitiendo, incluso, que la reserva del mismo pueda declararse a favor de las Entidades locales.

A la hora de prestar el servicio, el Ayuntamiento puede optar por prestarlo directamente (gestión por la propia Entidad local, a través de un Organismo autónomo local o mediante una sociedad mercantil cuyo capital pertenezca íntegramente al Ayuntamiento) o indirectamente (concesión, gestión interesada, concierto, arrendamiento, o una sociedad mercantil o cooperativa cuyo capital social pertenezca sólo parcialmente al Ayuntamiento). En ambos casos, el Pleno del Ayuntamiento tiene la potestad de fijar las tarifas que regirán el servicio, que deberán ajustarse a los costes del mismo.

Además, el servicio público de abastecimiento de agua está sujeto al régimen de precios autorizados de ámbito autonómico, por lo que la implantación o modificación de las tarifas requiere la autorización previa de la Consejería del Gobierno de Canarias con competencias en la materia (actualmente, la Consejería de Economía, Hacienda y Comercio), previo informe de la Comisión Territorial de Precios correspondiente. Esta Comisión está integrada por distintos representantes del sector público y de los sectores sociales más representativos (organizaciones de consumidores, sindicales y empresariales), y funciona régimen de reuniones en Pleno y de Grupos de Trabajo.

Las tarifas entran en vigor tras la publicación de las mismas en el Boletín Oficial de Canarias. La Tabla 5.7 muestra las tarifas vigentes en el municipio de Victoria de Acentejo en 2009 (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Tabla 5.7. Tarifa vigente en el municipio de Victoria de Acentejo (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2009).

Aprobación por la Comisión Territorial de precios:		13-may-93
Fecha de publicación B.O.C.:		21-may-93
Periodo de tarificación:		bimestral
Tipos de consumo	Doméstico	importe
	Hasta a 10 m3	6,01 €
	De 11 m3 a 30 m3	0,7€/m3
	De 31 m3 a 50 m3	0,77€/m3
	Más de 51 m3	0,89€/m3
	No doméstico	importe
	Hasta a 10 m3	7,69 €
	De 11 m3 a 50 m3	0,77€/m3
	Más de 51 m3	0,89€/m3
	Uso especial	importe
	Hasta 10 m3	6,71 €
	Más de 11 m3	3,25€/m3

Los esfuerzos realizados han permitido reducir el consumo urbano de agua de forma estable. Habitualmente consisten en algún tipo de combinación de incentivos económicos, normas reguladoras e información pública que, en conjunto, fomentan la adopción de tecnologías y comportamientos de ahorro.

Las aguas subterráneas continúan siendo la principal fuente de recursos hídricos en la isla de Tenerife. Sin embargo, esta fuente de agua no es capaz de afrontar los consumos que la sociedad requiere, ya que de los 474 mm de precipitación media anual tan solo 175 mm son infiltrados, generando un problema de sobreexplotación que debe ser apaliado con nuevas fuentes de agua como puede ser la reutilización de las aguas grises.

El sector del agua en la isla de Tenerife se caracteriza por su fragilidad ante cualquier eventualidad externa. Esta fragilidad se manifiesta en la creciente y absoluta dependencia energética del exterior para producir los recursos hídricos necesarios y satisfacer, a su vez, las crecientes demandas residencial y turística.

En la isla de Tenerife se viene produciendo un cambio cultural importante que influye directamente en las pautas de consumo. La disponibilidad de agua de forma continua, el cambio generacional, la influencia cultural del visitante acostumbrado a mayores dotaciones de agua y el crecimiento de la población basado en la inmigración de población con modelos de consumo diferentes, han contribuido a que la tradicional cultura de ahorro y el uso eficiente del agua se encuentre en claro retroceso.

En este momento son necesarias medidas contundentes y de carácter práctico para fomentar el uso consciente y eficiente de los recursos hídricos, renovando y revitalizando, en la medida de lo posible, la peculiar cultura del agua en la isla. Se deben recoger los avances tecnológicos y las buenas prácticas que permitan reducir el impacto ambiental del uso del agua en la isla, mejorar la eficiencia en su uso y divulgar una nueva cultura del agua hacia la sostenibilidad.

El proyecto de viviendas en el municipio de Victoria de Acentejo pretende la puesta en práctica de estas medidas para generar un trozo de tejido urbano que reúna las estrategias principales para paliar las deficiencias hídricas que en la actualidad encontramos en la isla.

CAPÍTULO 6

SOLUCIÓN ADOPTADA

6.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este estudio ha sido evaluar la instalación de un sistema de reutilización de aguas grises en unos edificios de viviendas sociales de alta sostenibilidad y eficiencia en el municipio de la Victoria de Acentejo (Tenerife). Para lograr este propósito se han evaluado previamente tanto las características del lugar en el que se desea implantar el sistema de regeneración como los posibles métodos para llevarlo a cabo.

6.2 ELECCIÓN DE ALTERNATIVA

La selección de alternativas tiene como objetivo comparar todas las tecnologías disponibles para identificar aquella que sea más efectiva y mejor se adapte a las condiciones existentes. A lo largo de los capítulos previos hemos tratado de dar a conocer toda la información relativa a la regeneración de las aguas grises elaborando las premisas correspondientes y tratando de identificar y evaluar las alternativas disponibles. La técnica seguida para tomar decisiones se ha basado prácticamente en recoger toda la información posible de los aspectos que están tanto a favor como en contra del problema, con el fin de identificar sus limitaciones.

El primer paso ha sido tratar de aclarar el concepto de aguas grises. La poca unanimidad a la hora de establecer la procedencia en que se originan las aguas grises ha hecho que nos hayamos visto obligados a tomar una decisión propia, considerando como aguas grises aquellas que provienen de bañeras, duchas y lavabos. Con ello hemos querido obtener un agua de alta calidad y evitar mayores riesgos sanitarios y/o medioambientales.

El consumo medio en L/hab-día estimado por la campaña “Cada gota un tesoro”, realizada por el Consejo Insular de Aguas, ronda los 65 L/hab-día (60 L/hab-día para baño o ducha y 5 L/hab-día en lavabo). Es importante tener en cuenta que los principales consumos de agua por persona y día fluctúan en función de los hábitos de cada persona (duración de duchas, tiempo de apertura de grifos, agua utilizada en baños) y de la antigüedad y la tipología de los equipos.

Los sistemas de tratamiento para minimizar el gasto de agua, reduciendo así el coste de la misma, son muy similares entre sí. La mayoría de empresas siguen una misma línea de tratamiento. Es por ello, que hemos considerado la opción planteada por Remosa, cuya estación regeneradora GREM permite tratar mediante tecnología de membrana las aguas provenientes de duchas, bañeras y lavamanos (aquellas en las que estamos interesados) y obtener un agua cuya calidad se adapta a las exigencias más estrictas requeridas por el RD 1620/2007.

Los métodos y los costes de las instalaciones dependen de la empresa instaladora y del momento de su instalación. Se pueden implantar de manera individual en cada uno de los bloques o bien, unificando todo el recinto de viviendas con un único sistema de regeneración.

Al unificar la instalación se reducen los costes tanto de la estación regeneradora, al requerir una instalación capacitada para tratar un mayor volumen de aguas en lugar de varias pequeñas, como del aspecto igualmente importante, el del mantenimiento futuro. Además, las obras se pueden realizar sin ningún tipo de impedimento, al tratarse de una parcela exenta de edificaciones.

Cuando ya existan viviendas o instalaciones, el coste se encarece, pues las obras a realizar se deben adaptar al lugar, sin tener margen de maniobra; por ello se recomienda implantarlos aprovechando las posibles reformas del lugar.

En la parcela estudiada está previsto construir aproximadamente unos 60 apartamentos destinados a jóvenes o personas mayores de 65 años, junto con un equipamiento urbano que satisfaga determinadas necesidades del entorno como es una guardería, una cafetería y un centro para la tercera edad.

Los módulos de viviendas que se han proyectado para este estudio corresponden a:
una vivienda de dos dormitorios adecuada para jóvenes con 1 o dos hijos, o para ancianos que vivan solos o con un cuidador.
Un apartamento diáfano para jóvenes.

Como es difícil establecer una media de las personas que vivirán en cada apartamento, hemos considerado el caso más extremo, es decir, un promedio de 3 habitantes (pareja más un hijo o ancianos más un cuidador) por vivienda. Por tanto, hemos estimando un total de 60 viviendas con 3 habitantes en cada una de ellas, lo que representa un total de 180 personas viviendo en el recinto. Un consumo de 65 L/hab-día de aguas grises supone la generación total de 11.700 L/día de aguas grises.

Este volumen de agua generada requiere la instalación de dos estaciones regeneradoras GREM 5.000 D1.6 más una estación GREM 2.500, con capacidad para regenerar un total de 12.500 L/día, es decir, 800 L/día por encima de lo requerido. Esta capacidad excedente puede ser cubierta por el agua que obtengamos del resto de infraestructuras a ejecutar en la zona o, a pesar de que las precipitaciones puedan ser escasas, de las aguas pluviales que puedan ser aprovechadas, sin costes asociados a su producción y cuya falta de aprovechamiento supone un despilfarro de recursos naturales.

Los edificios de nueva construcción tienen la posibilidad, con garantías, de recoger, almacenar y reutilizar las aguas pluviales. Para ello, deberán disponer de sistemas captadores de agua pluvial en los techos o cubiertas y contar con sus correspondientes sistemas de almacenamiento y aprovechamiento del recurso. Además, las estaciones GREM vienen equipadas con una electroválvula para permitir la entrada de agua pluvial desde los depósitos de almacenamiento de aguas pluviales hasta el depósito de almacenamiento de las aguas regeneradas por el GREM, cumpliendo ambas los requisitos de calidad para ser reutilizadas.

6.3 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA PROPUESTA

Cada vivienda dispondrá de un ramal colector encargado de conectar las derivaciones individuales de las duchas y los lavamanos de dicha vivienda con el bajante que le corresponde del edificio. Estos bajantes serán verticales y conducirán las aguas a otro

bajante, común para todo el bloque, situado en posición horizontal con una pendiente adecuada para llevar las aguas grises hasta la estación regeneradora.

Los bajantes verticales trascorrirán por los espacios que los bajantes de aguas residuales domésticas o fecales siguiendo el mismo trazado, pero sin que en ningún caso se lleguen a unir. Su parte superior saldrá por el tejado de la vivienda, a una altura lo suficientemente elevada como para no provocar olores indeseados a los ciudadanos, y estará dotada de un capuchón de aireación. El bajante horizontal trascorrirá por el techo del parking, o bien bajo tierra, evitando que pueda producir cualquier tipo de impacto visual.

Aprovechando que la parcela tiene una fuerte pendiente descendente hacia el oeste y también tiene cierta pendiente hacia el sur, ya que en este borde se sitúa el lindero con el barranco y por tanto la futura estación regeneradora, las aguas grises pueden seguir este trazado de forma que se desplazan por gravedad hacia la estación sin la necesidad de ser bombeadas.

Las derivaciones de los aparatos irán instaladas en la superficie por el forjado del piso inferior. Los ramales de conexión con el bajante de las viviendas trascorrirán por el falso techo del cuarto de baño del piso inferior, ya que los ramales necesitan tener un espacio suficiente para dotarles de la pendiente requerida para su buen funcionamiento. La sujeción se realizará mediante abrazaderas que irán sujetas al forjado mediante tornillos.

Las tuberías para desagües serán de polietileno o de polipropileno, descartándose la utilización de PVC por su posible toxicidad. Su instalación se dimensionará a partir del Documento Básico HS5 de evacuación de aguas.

El cálculo se realizará a partir del número de unidades de desagües que tendrá cada aparato incluido en la instalación, lo que permitirá conocer los diámetros de cada tubería, de la bajante, de los ramales de conexión y de las derivaciones individuales, así como las pendientes que tienen que tener.

Las Tabla 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4 muestran la información necesaria para poder diseñar correctamente la futura red de evacuación de aguas grises. El tipo de aparato sanitario y las unidades de desagüe determinarán los diámetros de los bajantes y los colectores, así como la pendiente a adoptar en cada uno de los casos (Documento Básico HS5, 2006).

La ubicación de la estación regeneradora, tal y como se ha definido en el estudio previo, está prevista en el límite sur de la parcela, junto al barranco, ya que el uso previsto para las aguas será tanto en la propia parcela como en la zona de regadío situada al otro lado de barranco.

El caudal de aguas grises que se prevé regenerar requiere la instalación de dos estaciones regeneradoras GREM 5.000 D1.6 más una estación GREM 2.500, con los requerimientos constructivos siguientes:

1. La profundidad del foso debe ser la suma del diámetro o de la altura del equipo (1.600 mm en ambos casos), la losa de hormigón armado (150 mm), la capa de hormigón tierno (250 mm) y la distancia entre la cisterna y el nivel del suelo (500 mm al tratarse de una instalación sin tráfico) lo que resulta en una profundidad total de 2.500 mm.

2. Cuando se instalan varios equipos, como es el caso, la distancia entre depósitos debe ser como mínimo de 400 mm. Entre el depósito y la pared del foso debe quedar, como mínimo, una distancia de 300 mm en todo el perímetro
3. La parte inferior de la fosa estará formada por una losa de hormigón armado de 150 mm presentando una resistencia de 175 kg/cm². La superficie de la losa ha de rebasar en 300 mm las dimensiones horizontales del depósito.
4. Una vez construida, la losa de hormigón debe rellenarse con hormigón tierno de resistencia 100 kg/cm² y una altura de 250 mm. A continuación se situará el tanque, con el hormigón aún tierno, y se llenará de agua hasta un tercio de su capacidad. Una vez asentado y nivelado se seguirá rellenando el foso con hormigón hasta cubrir una altura de 1/3 de la altura del depósito y una anchura de 300 mm. El resto se rellenará con material granular, arena o gravilla fina lavada, cribada y libre de polvo, sin arcilla ni material orgánica y totalmente libre de objetos pesados gruesos, que puedan dañar el depósito, y de una granulometría entre 4 y 16 mm.
5. El depósito se anclará mecánicamente mediante eslingas de sujeción. Éstas deben situarse en los costillares marcados del depósito. La distancia entre puntos de anclaje ha de ser igual al diámetro del tanque más 300 mm a cada lado del mismo. Los puntos de anclaje en el fondo del foso deben alinearse. Pueden utilizarse las orejas como punto de sujeción mediante eslingas.
6. Al estar los depósitos totalmente enterrados hay que colocar una arqueta sobre cada una de las aberturas de acceso al depósito. Las arquetas no han de transmitir a las paredes del depósito ningún tipo de carga que pueda dañar a ellas o al aislamiento.

Tabla 6.1 Unidades correspondientes a los distintos aparatos sanitarios (Documento Básico HS5, 2006).

Tipo de aparato sanitario		Unidades de desagüe UD		Diámetro mínimo sifón y derivación individual [mm]	
		Uso privado	Uso público	Uso privado	Uso público
Lavabo		1	2	32	40
Bidé		2	3	32	40
Ducha		2	3	40	50
Bañera (con o sin ducha)		3	4	40	50
Inodoros	Con cisterna	4	5	100	100
	Con fluxómetro	8	10	100	100
Urinario	Pedestal	-	4	-	50
	Suspendido	-	2	-	40
	En batería	-	3.5	-	-
Fregadero	De cocina	3	6	40	50
	De laboratorio, restaurante, etc.	-	2	-	40
Lavadero		3	-	40	-
Vertedero		-	8	-	100
Fuente para beber		-	0.5	-	25
Sumidero sifónico		1	3	40	50
Lavavajillas		3	6	40	50
Lavadora		3	6	40	50
Cuarto de baño	Inodoro con cisterna	7	-	100	-
(lavabo, inodoro, bañera y bidé)	Inodoro con fluxómetro	8	-	100	-
Cuarto de aseo	Inodoro con cisterna	6	-	100	-
(lavabo, inodoro y ducha)	Inodoro con fluxómetro	8	-	100	-

Tabla 6.2 Unidades conectados a los ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajantes (Documento Básico HS5, 2006).

Diámetro mm	Máximo número de UD's		
	Pendiente		
	1 %	2 %	4 %
32	-	1	1
40	-	2	3
50	-	6	8
63	-	11	14
75	-	21	28
90	47	60	75
110	123	151	181
125	180	234	280
160	438	582	800
200	870	1.150	1.680

Tabla 6.3 Diámetro de las bajantes según el número de alturas del edificio y el número de unidades (Documento Básico HS5, 2006).

Diámetro, mm	Máximo número de UD's, para una altura de bajante de:		Máximo número de UD's, en cada ramal para una altura de bajante de:	
	Hasta 3 plantas	Más de 3 plantas	Hasta 3 plantas	Más de 3 plantas
50	10	25	6	6
63	19	38	11	9
75	27	53	21	13
90	135	280	70	53
110	360	740	181	134
125	540	1.100	280	200
160	1.208	2.240	1.120	400
200	2.200	3.600	1.680	600
250	3.800	5.600	2.500	1.000
315	6.000	9.240	4.320	1.650

Tabla 6.4 Diámetro de los colectores horizontales en función del número máximo de unidades y la pendiente adoptada (Documento Básico HS5, 2006).

Diámetro mm	Máximo número de UD's		
	Pendiente		
	1 %	2 %	4 %
50	-	20	25
63	-	24	29
75	-	38	57
90	96	130	160
110	264	321	382
125	390	480	580
160	880	1.056	1.300
200	1.600	1.920	2.300
250	2.900	3.500	4.200
315	5.710	6.920	8.290
350	8.300	10.000	12.000

Una vez el agua haya sido sometida al correspondiente tratamiento de regeneración se procederá a su transporte desde la planta hasta el punto de su futura reutilización (riego de los viñedos, riego zona ajardinada, descarga de WC, lavado de calles) mediante la colocación de unas bombas que impulsen el agua. Para ello será necesaria la construcción de una nueva red de distribución constituida por tuberías de polietileno o de polipropileno debidamente identificadas pintándolas de color violeta (PANTONE 2577U ó RAL 4001) e inscribiéndoles una leyenda fácilmente legible: "AGUA REGENERADA. AGUA NO POTABLE" siguiendo la normativa descrita en el capítulo 4.

Todos los componentes y accesorios del sistema del agua regenerada, tales como válvulas, grifos y cabezales de aspersión tendrán que estar marcados adecuadamente, con objeto de advertir al público de que el agua no es potable. Estos dispositivos tendrán unas características específicas de modo que solo sea posible su uso por personal autorizado.

Para concluir, hay que tener presente que este sistema de distribución debe ir acompañado de códigos de salud, procedimientos para la aprobación (y desconexión) del servicio, normas que rijan el diseño y especificaciones de construcción, de inspección, de operación y de mantenimiento que eviten cualquier riesgo sanitario o ambiental.

En función de su nuevo uso, el agua regenerada ha de cumplir unos determinados requisitos microbiológicos y físico-químicos, siendo estos más exigentes cuanto mayor sea el contacto directo con los seres humanos o animales de los usos previstos. Este tipo de estaciones regeneradoras garantiza que el agua resultante puede ser usada para todos los usos que no requieran un agua potable, ya que cumplen todas las restricciones establecidas por el RD1620/2007. Simplemente, tendrá que disponerse de un personal autorizado y capacitado que se encargue del buen funcionamiento del sistema y realice las tareas de mantenimiento de la instalación y comprobación de los parámetros de calidad correspondientes, para evitar cualquier tipo de riesgo sanitario o medioambiental.

La empresa fabricante de la estación marca una serie de pautas que conviene seguir en cuanto al mantenimiento de cada uno de los componentes del sistema, indicando la periodicidad con la que se deberán realizar los trabajos. El control de los parámetros de calidad deberá realizarse de acuerdo con lo que marca el RD 1620/2007 a fin, de que las posibles inspecciones del sistema permitan confirmar que todo funciona de forma adecuada.

6.4 COSTE DE LA INSTALACIÓN PROPUESTA

La evaluación del coste total de la nueva instalación requiere disponer de una serie de datos económicos como son los costes de explotación y mantenimiento de la infraestructura, los costes de inversión para la adquisición de las nuevas estaciones regeneradoras, y los costes constructivos de las nuevas redes de evacuación de aguas grises y de distribución de agua regenerada.

Aunque no disponemos de datos exactos sobre el coste de cada una de esas actuaciones, hemos tratado de numerar los conceptos a considerar en cada uno de los apartados.

El importe de la inversión necesaria para adquirir la planta de regeneración de agua, con una capacidad de 12.500 L/día, asciende a 50.650 €, estando englobadas las dos estaciones regeneradoras GREM 5000 D1.6 (18.450€/unidad), la estación GREM 2500 (13.750 €) y la asistencia técnica para garantizar una buena instalación. Si comparamos con otras marcas existentes en el mercado (Pontos Aquacycle, Ecocicle) los precios son similares y oscilando entre 40.000 – 60.000 €.

La empresa Remosa no dispone de datos referentes al mantenimiento de la estación regeneradora. El coste de la explotación y el mantenimiento se estimará considerando los reactivos a usar (hipoclorito sódico como desinfectante), el consumo energético de la estación para llevar a cabo la correspondiente regeneración, el personal necesario para realizar los trabajos de mantenimiento y supervisión de las instalaciones, el material de

repuesto necesario para realizar el cambio en caso de fallo del equipo o antigüedad de la pieza, y el coste de los análisis de agua que se deben realizar para comprobar que la calidad de agua se mantiene constante en todo momento y no baja de los límites establecidos por la normativa.

El importe de la construcción de la red de evacuación de aguas grises, así como de la correspondiente red de distribución del nuevo recurso es muy difícil de estimar y no se dispondrá de su valor hasta que no se realice el proyecto constructivo de las nuevas viviendas. En él tendremos que contabilizar las tuberías necesarias tanto para captar como para suministrar el agua, los codos y las abrazaderas necesarios, las llaves de paso, las válvulas de retención, los grupos impulsores y por supuesto la mano de obra necesaria para ejecutarlo.

Las mayores exigencias económicas, si nos basamos en otros proyectos de regeneración a mayor escala como el de Victoria-Gasteiz, están asociadas a la reutilización (distribución al usuario), mientras que el coste de la planta de regeneración y sobre todo los costes de explotación y mantenimiento (la regeneración del agua) son menores (Mujeriego, 2006). Esta reflexión permite anticipar que las mejoras en la calidad del agua regenerada, hasta alcanzar unos niveles que permitan el riego sin restricción, son de escasa significación relativa cuando se plantea un proyecto de reutilización planificada con una cierta visión de futuro, en consonancia con los niveles de protección ambiental y de salud pública.

El plan de reutilización integral de Vitoria-Gasteiz ofrece los siguientes costes económicos (Mujeriego, 2006):

1. Unos costes anuales de explotación y mantenimiento de la planta de regeneración cifrada en 0,4 millones de euros, para producir 12,5 hm³ anuales de agua regenerada con calidad adecuada para riego sin restricciones. Esto representa un coste unitario de 0,032 €/m³-anual aproximadamente.
2. Una inversión de 3,25 millones de euros para construir la planta de regeneración de agua, con una capacidad de 35.000 m³/día (400 L/s). Esto representa una inversión unitaria de 0,26 €/m³-anual.
3. Una inversión de 28 millones de euros para sufragar la construcción de una red de riego de nueva planta para distribuir el agua en 10.000 ha, incluyendo los bombeos y un embalse regulador de 7 hm³ (inversión específica de 11,8 millones de euros) para almacenar agua regenerada durante el invierno con la que poder regar durante el verano.

La entrada en funcionamiento de diversos proyectos de reutilización para riego de jardinería en la Costa Brava, promovidas por el Consorcio de la Costa Brava, y de la planta de regeneración de agua de Vitoria-Gasteiz en 1995, promovida por la Comunidad de Regantes Arrato y financiada por la Diputación Foral de Álava permiten establecer valores de referencia del coste del agua regenerada en España. El índice de agua regenerada en el Consorcio Costa Brava se sitúa en torno a los 0,084€/m³ siendo el índice de inversión de 0,76€/m³-anual mientras que en Victoria-Gasteiz, los valores se sitúan en 0,065€/m³ y 0,26€/m³-anual respectivamente (Mujeriego, 2006).

El índice de inversión que supone la instalación de la estación regeneradora de agua en Victoria de Acantejo considerando un consumo de 4.562.500L/anuales y un coste de instalación de 50.650 €, se sitúa en torno a los 11,10 €/m³-anual. El coste obtenido no es comparable en ningún momento con el de Victoria-Gasteiz o Costa Brava, al no tratarse

del mismo volumen de agua a regenerar 4.562,5 m³/año frente a los 12,5 hm³/año de Victoria-Gasteiz.

La Tabla 6.5 muestra el coste entre diferentes opciones de producir agua ya sean convencionales (agua superficial y subterránea) o a partir de nuevas tecnologías (desalación), sin incluir en él los costes de transporte debido, fundamentalmente, a las singularidades orográficas. El coste medio superficial de captación se produce a través de Balsas en la zona norte de la isla, según información facilitada por BALTEN, siendo el coste medio en la zona sur de hasta 0,62 €/m³. Hay que tener en cuenta, además, que la gran parte del agua embalsada en Tenerife procede de galerías. El Precio medio subterráneo se obtiene a través de galerías y pozos según el informe presentado por EMMASA en sus Cuentas Anuales del ejercicio 2004. Por último, el coste de desalación representa a una planta moderna de más de 20.000 m³/día, asumiendo un precio de la energía de 0,075 €/kWh.

Tabla 6.5 Coste medio de los sistemas de obtención de agua en la isla de Tenerife (C. Inés Ruiz de la Rosa).

Coste medio estimado por sistemas de obtención de agua			
	Superficial	Subterráneo	Desalación
Producción	0,42 €/m ³	0,48 €/m ³	0,56 €/m ³
Depuración	0,17 €/m ³	0,17 €/m ³	0,17 €/m ³

La instalación prevista en el municipio de Victoria de Acentejo tiene una gran vertiente ambiental de ahorro de agua, pero también tiene un coste económico y ecológico que se debe tener presente o al menos ser conscientes del mismo. El coste ambiental de una instalación como ésta tiene muchos aspectos a tener en cuenta, algunos de los cuales son difíciles de cuantificar o valorar (un mayor volumen de material, de tuberías y de bombas). En la construcción del edificio, cabe mencionar el material que se debe manufacturar, transportar, instalar y una vez llegado su fin de vida, se deberá de reciclar. En este caso cuando hablamos de coste ambiental, sólo nos referiremos al coste energético que vamos a producir con una instalación de este tipo.

El consumo energético de la regeneración de este tipo de estaciones se sabe que inferior a 1 kWh/m³, aunque Remosa no dispone de un valor exacto. Al margen del coste económico que esto representa, conviene tener en cuenta también el impacto ambiental que esos niveles de consumo eléctrico conllevan. Considerando que la aportación media de dióxido de carbono se sitúa en torno a 460 g/kWh producido en España y que el derecho de emisión de dióxido de carbono se sitúa actualmente en unos 20 euros por tonelada, cada kWh consumido en España añade un coste ambiental adicional de 0,01 euros/m³ al agua regenerada (Mujeriego, 2006).

El coste de capital del m³ de agua gris regenerada en un grupo de 60 viviendas del municipio de Victoria de Acentejo en Tenerife, mediante una estación GREM, se ha estimado en 1,11 €/m³, considerando: 1) una inversión de 11,10 €/m³-anual, 2) una vida útil de la estación regeneradora de 10 años, fijada por la duración de las membranas y 3) un funcionamiento continuo y a pleno rendimiento de la estación. Esta cifra es del mismo orden de magnitud que los 0,77 – 0,89 €/m³ fijados en la tarifa vigente para consumo doméstico (Tabla 5.7) del municipio de Victoria de Acentejo, lo que permite considerar la

reutilización de aguas grises como una alternativa viable para paliar los problemas de escasez de agua en una zona como ésta.

Hay que ser conscientes de que la elección entre las alternativas no debe apoyarse, únicamente, en criterios de coste puesto que son muchos los efectos que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar la mejor opción. Las claves del éxito o del fracaso de los proyectos y de las estrategias de reutilización de aguas son muy variadas, entre las que cabe citar: las económicas, las tecnológicas, las sociales, las normativas reguladoras, la gestión y las buenas prácticas de uso (Asano, 1998). Pero sobre todo, el hecho de que el agua es un recurso demasiado valioso para malgastarlo y cuya disponibilidad no parece asegurada en un futuro habrían de ser suficientes para plantearse nuevas formas de regeneración de aguas grises en zonas de escasa pluviometría como el municipio de Victoria de Acentejo en la isla de Tenerife.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos durante este estudio permiten formular las siguientes conclusiones.

1. La reutilización de aguas grises constituye un componente esencial de la gestión de los recursos hídricos, al contemplar la calidad del producto y la protección del mismo como garantía de un abastecimiento futuro y de un desarrollo sostenible. La innovación y la protección medioambiental deben ser dos de los principales distintivos para conseguir obtener un producto de calidad, en lugar de un residuo.
2. El progreso de la regeneración y la reutilización del agua no depende únicamente de los avances tecnológicos. Los organismos de gestión y la ciudadanía juegan un papel importante. Los primeros tienen la capacidad de detectar las necesidades concretas que podrían resolverse tecnológicamente y los segundos de adecuarse a los nuevos proyectos, para que los esfuerzos científicos y sociales no resulten insuficientes. La gestión de todo el proceso juega un papel determinante en el éxito de un proyecto de reutilización del agua.
3. La reutilización de las aguas grises tiene como objetivos reducir el consumo neto de agua potable, que de este modo puede destinarse a otros usos que no requieren agua de alta calidad, reducir el volumen de agua residual que ha de conducirse para su depuración y disminuir los consumos de agua personales y sociales.
4. La falta de consenso en torno a las fuentes potenciales de aguas grises provoca incertidumbre a técnicos y ciudadanos, al no saber con certeza qué aguas pueden considerarse para su regeneración y qué tipo de tratamiento usar para ello. Las definiciones propuestas para “aguas grises” incluyen de forma unánime las aguas de bañeras, duchas y lavabos, pero divergen en la inclusión de las de cocina y lavandería. Convendría llegar a un acuerdo a nivel internacional para facilitar los estudios en el sector y la comprensión por parte la ciudadanía.
5. Las dotaciones de agua por habitante y día vienen determinadas por factores como el número de ocupantes por vivienda, la edad de las personas, el tipo de vida, el patrón de usos del agua e incluso el tipo de electrodomésticos disponibles. La dotación de agua en el municipio de Victoria de Acentejo asciende a 166 L/hab-día, por debajo de la media, si tenemos en cuenta que las dotaciones netas en España varían entre 100 y 350 L/hab-día.
6. La demanda total de agua en la isla de Tenerife asciende a unos 216 hm³/año, de los cuales la agricultura ha venido siendo la principal receptora, con un 50% del total. La demanda se satisface mediante una oferta variada, en la que los recursos convencionales (superficiales, subterráneos y manantiales) no son suficientes y deben completarse con recursos no convencionales, como son la desalación de agua de mar y la reutilización de aguas regeneradas.

7. Las aguas subterráneas son la principal fuente de recursos hídricos en la isla de Tenerife. Sin embargo, esta fuente no es capaz de afrontar los consumos que la sociedad requiere ya que, de los 474 mm de precipitación media anual, tan solo unos 175 mm se llegan a infiltrar, generando un problema de sobreexplotación. En este momento son necesarias medidas contundentes y de carácter práctico para fomentar el uso consciente y eficiente de los recursos hídricos, renovando y revitalizando la peculiar cultura del agua en la isla. Se deben recoger aquellos avances tecnológicos y buenas prácticas que permitan reducir el impacto ambiental del uso del agua en la isla, mejorar la eficiencia en su uso y divulgar una nueva cultura del agua hacia la sostenibilidad.
8. La reutilización de aguas grises ofrece una garantía de suministro muy superior a la de las fuentes convencionales, ya que asegura la disponibilidad de caudales prácticamente constantes, permite un aprovechamiento de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) contenidos en el agua regenerada cuando se utiliza para riego agrícola y de jardinería, y potencia una gestión más eficiente de los recursos hídricos.
9. La reducción de la demanda de recursos convencionales resultante de esta estrategia de gestión ha de permitir un aumento de las garantías de suministro para usos urbanos y asegurar los caudales ecológicos. Es importante determinar el consumo de agua de cada una de las actividades domésticas, pues ello afectará a los volúmenes de aguas grises generados. El volumen de aguas grises generado en una vivienda, incluyendo las aguas procedentes del lavabo, la ducha y la lavadora, puede estimarse en unos 65 L/hab-día, dependiendo de factores como el nivel de vida, la edad y los hábitos adquiridos.
10. La presencia y la concentración de agentes patógenos así como de nutrientes, sales y cualidades físico-químicas en las aguas grises conllevan un riesgo potencial de infección para los usuarios y, por ello, es preciso conocer su composición media. La carga contaminante de las aguas grises se caracteriza por ser muy variable. Su composición viene afectada por la densidad de población, el nivel demográfico, la fuente de agua, la eficiencia del uso del agua de los aparatos y los accesorios, los hábitos de uso y los productos utilizados en su uso. Los parámetros de calidad de las aguas grises se sitúan en valores de DBO₅ que oscilan entre 420 y 890 mg/L, niveles de SST entre 300 y 630 mg/L y una turbidez aproximada de 130 UNT.
11. Las aguas grises no son la única fuente de agua que puede ser reutilizada, pues se puede considerar también el uso de las aguas de lluvia y las aguas residuales domésticas. La calidad del agua de lluvia es generalmente mejor que la de las aguas grises, con valores de DBO₅ inferiores a 3,7 mg/L, aunque con niveles de sólidos en suspensión y de turbidez relativamente altos, hasta de 153 mg/L y de 56 UNT, respectivamente. Las aguas residuales domésticas en cambio, se caracterizan por tener un promedio de DQO y SST de 1100 y 550 mg/L. Los sistemas de gestión de los recursos hídricos tendrán que integrar de forma efectiva los recursos aportados por nuevas (no convencionales) fuentes de agua (aguas grises) para satisfacer los consumos actuales y futuros con seguridad sanitaria y ambiental.
12. La reutilización de aguas grises requiere su normalización y regulación, disponiendo de una normativa en la que se especifiquen los posibles usos del agua y se definan los parámetros de calidad para cada uno ellos. En la actualidad, el RD 1620/2007 ofrece una referencia importante para establece las condiciones básicas

de la reutilización del agua, aunque algunas autonomías como Madrid y Cataluña han establecido sus propias ordenanzas.

13. Los usos que pueden darse a las aguas regeneradas, de acuerdo con el RD 1620/2007 son: el uso urbano, el uso agrícola, el uso industrial, el uso recreativo y el uso ambiental. Los límites de calidad que conviene aplicar a la reutilización de las aguas para un uso general se fijan en 1 huevo/10L de nematodos intestinales, 0 UFC/100 mL de *Escherichia coli*, 10 mg/L de sólidos en suspensión, una turbidez de 10 UNT y una DBO5 de 30 mg/L.
14. Los riesgos sanitarios que la reutilización del agua puede ocasionar hacen necesaria la adopción de medidas para proteger la salud pública. Estas medidas pueden ser: 1) disponer de procesos adecuados para la depuración del agua, 2) utilizar métodos correctos de aplicación del agua regenerada, 3) minimizar el grado de exposición humana y 4) restringir los cultivos o zonas a regar.
15. Una exigencia característica de los proyectos de regeneración de agua es la necesidad de asegurar una fiabilidad notable del proceso de tratamiento, con prioridad sobre el rendimiento y la eficacia de los propios procesos.
16. Las normativas sobre reutilización de aguas grises establecen la obligación de solicitar una autorización previa para la instalación de un tratamiento de aguas grises. Una vez obtenido el permiso e implantado el sistema, el Gobierno Local debe inspeccionar el sistema para asegurar que está instalado correctamente. Corresponde al órgano ambiental municipal competente velar por el cumplimiento de la ordenanza, la prevención, la vigilancia y el control de su aplicación, la adopción de medidas cautelares o provisionales y cuantas acciones conduzcan a la observancia de la misma. La competencia se determinará de conformidad con la organización de los servicios administrativos y el régimen de delegación de competencias que se establezca.
17. El mercado incluye diversas empresas dedicadas al sector de la regeneración de aguas grises con equipos dotados de una línea de tratamiento muy similar. Remosa es una de esas empresas y su estación regeneradora GREM permite tratar las aguas procedentes de bañeras, duchas y lavabos. Remosa dispone también de estaciones regeneradoras ROXPLUS que se adaptan a las condiciones más exigentes propias de la reutilización conjunta de aguas grises y aguas residuales domésticas.
18. El sistema GREM cumple los requisitos establecidos por el Real Decreto 1620/2007 e incluye todos los tratamientos necesarios (desbaste, oxidación biológica, filtración y cloración) para obtener un agua de calidad. La regeneración alcanza su utilización óptima cuando las instalaciones funcionan de forma continuada y sistemática, de modo que los costes fijos de inversión puedan distribuirse sobre el volumen máximo de agua producido. Cuando el caudal de aguas grises producido es inferior a la capacidad de la estación, el sistema GREM puede alimentarse de la red de agua potable o aprovechar aguas pluviales previamente recogidas.
19. El valor de referencia del coste del agua regenerada varía en función de los gastos de amortización y de explotación y mantenimiento, así como de los costes de impulsión y de distribución a través de la red de riego. El coste de inversión de una

planta de regeneración con capacidad para tratar 12.500 L/día en Victoria de Acentejo asciende a unos 50.650 €, con un índice de inversión de 11,10 €/m³-año. Otros proyectos de regeneración como el de Victoria-Gasteiz o el del Consorci de la Costa Brava tienen valores de 0,26 €/m³-año y 0,76 €/m³-año, respectivamente. Los valores estimados para las aguas grises son orientativos y poco comparables con los de instalaciones de mayor tamaño: los grandes volúmenes de agua a tratar, en el caso de Vitoria-Gasteiz, reducen considerablemente los costes unitarios.

20. El coste de capital del m³ de aguas grises regeneradas en un grupo de 60 viviendas del municipio de Victoria de Acentejo en Tenerife, mediante una estación GREM, se ha estimado en 1,11 €/m³, considerando: 1) una inversión de 11,10 €/m³-año, 2) una vida útil de la estación regeneradora de 10 años, fijada por la duración de las membranas y 3) un funcionamiento continuo y a pleno rendimiento de la estación. Esta cifra es del mismo orden de magnitud que los 0,77 – 0,89 €/m³ fijados en la tarifa vigente para consumo doméstico del municipio de Victoria de Acentejo, lo que permite considerar la reutilización de aguas grises como una alternativa viable para paliar los problemas de escasez de agua en una zona como ésta.
21. El coste entre diferentes opciones para producir agua, ya sean convencionales (agua superficial y subterránea) o a partir de nuevas tecnologías (desalación), ronda los 0,42 €/m³, 0,48 €/m³ y 0,56 €/m³ respectivamente, valores muy inferiores a los 1,11 €/m³ de las aguas grises. No obstante, la elección entre las alternativas no debe apoyarse únicamente en criterios económicos, sino que habrá que valorar los criterios tecnológicos, sociales e incluso de disponibilidad del recurso.

CAPÍTULO 8

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Catalana del Agua, (2003). Criteris de qualitat de l'aigua regenerada segons diferents usos. Direcció General de Salut Pública del Departament de Sanitat i Seguretat Social.
- Agencia Catalana del Agua, (2008). L'Aigua a Catalunya. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya.
- Aguilera Klink, F. Economía del Agua en Canarias: Una Introducción. Dpto. Economía Aplicada. Universidad de La Laguna.
- Almeida, M.C., Butler, D. and Friedler, E. (1999) At-source domestic wastewater quality. *Urban Water* 1, 49-55.
- American Water Works Association (AWWA), (1990). *Water Quality and Treatment* 4th Ed. McGraw-Hill. New York.
- American Water Works Association Website, www.awwa.org 2003.
- Anderson, J.M. (1996) Current water recycling initiatives in Australia: scenarios for the 21st century. *Water Science and Technology* 33(10-11), 37-43.
- Asano, T. (1991). "Planning and implementation for Water Reuse Projects". *Water Science and Technology*. vol.10, no.9 pag. 1-10.
- Asano, T. (Editor) (1998). *Wastewater Reclamation and Reuse*. Water quality management library, Vol. 10. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster, PA, USA.
- Association of California Water Agencies (ACWA) (2005). No Time to Waste, A Blueprint for California Water. www.acwa.com. Sacramento, California.
- Beggs, C.B. (2003) The airborne transmission of infection in hospital buildings: fact or fiction? *Indoor and Built Environment* 12(1-2), 9-18.
- California Graywater Standards, (2005). Title 24, Part 5, California Administrative Code, Graywater Systems For Single Family Dwellings.
http://www.owue.water.ca.gov/docs/Revised_Graywater_Standards.pdf
- Casanova, L.M., Little, V., Frye, R.J. and Gerba, C.P. (2001a) A survey of the microbial quality of recycled household graywater. *Journal of the American Water Resources Association* 37(5), 1313-1319.
- Ciclo del Agua 2008. La Gestión y la Eficiencia del Ciclo Integral del Agua en la Ciudad de Zaragoza. Proyecto de mejora para un uso sostenible y racional de los recursos hídricos.
- C. Inés Ruiz de la Rosa. Desalación versus Reutilización de Agua en los Archipiélagos de la Macaronesia: Análisis de Costes. Departamento de Economía Financiera y Contabilidad. Universidad de La Laguna.
- Code of Practice for Greywater in Western Australia, (January 2005). Department of Health. www.health.wa.gov.au/publications/.
- Consejo Insular de Aguas de Tenerife (2002). Revisión y actualización del modelo de simulación del flujo subterráneo en la isla de Tenerife. Surge, S.A. Memoria. 030.
- Consejo Insular de Aguas, (2005). Cada gota un tesoro.
- Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF), (2009).
<http://www.aguastenerife.org/>

- Consejo Insular de Aguas de Tenerife. Juan Jose Braojos Ruiz, Isabel Farrujia de la Rosa, Jose D. Fernandez Bethencourt. Los Recursos Hídricos en Tenerife Frente al Cambio Climático. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica. Universidad de La Laguna, Sebastián Delgado Díaz, M^a Delia García Cruz, Fernando Díaz González, M^a Cristo Marrero Hernández, Luisa M^a Vera Peña, Natalia Otero Calviño, Nuria Regalado Rodríguez, Antonio Hernández Domínguez, Elayne B. Pérez Castro. El papel de la Universidad en la Gestión Sostenible del Agua.
- Consorci de la Costa Brava (2005). Actas de las Jornadas técnicas sobre La Integración del Agua Regenerada en la Gestión de los Recursos: el Papel Dinamizador del Territorio. Lloret de Mar, octubre de 2005.
www.ccbgi.org/jornades2005.
- Cranfield University, Silsoe, Stéphanie HAMEL, (2006). Investigation of Soils' Properties in Relation to Grey water Management in South Africa. Institute of Water and Environment MSc Water Management.
- Cranfield University, Gideon Paul Winward (October 2007). Desinfection of grey water. Centre for Water Sciences Department of Sustainable Systems School of Applied Sciences.
- Decreto 21/2006, de 14 de febrero, por el que se regula la adopción de criterios ambientales y de ecoeficiencia en los edificios.
- Dixon, A., Butler, D., Fewkes, A. and Robinson, M. (1999) Measurement and modelling of quality changes in stored untreated grey water. *Urban Water* 1, 293-306.
- Documento básico HS4, (2006). Suministro de Agua. Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Documento básico HS5, (2006). Evacuación de Aguas. Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Ecoaigua. [<http://ecoaigua.com/>, 12 de mayo de 2006].
- Embid, A. (2000). Reutilización y desalación de aguas. Aspectos jurídicos. La reforma de la Ley de Aguas. Ed. CIVITAS Zaragoza, España.
- Estevan, A. C. Villaroya (1996). Diseño de programas integrados de gestión de la demanda de agua. Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría de estado de aguas y costas.
- Fane, S.A., Ashbolt, N.J. and White, S.B. (2002) Decentralised urban water reuse: the implications of system scale for cost and pathogen risk. *Water Science and Technology* 46(6-7), 281-288.
- Fannin, K.F., Vana, S.C. and Jakubowski, W. (1985) Effect of an activated sludge wastewater treatment plant on ambient air densities of aerosols containing bacteria and viruses. *Applied and Environmental Microbiology* 49(5), 1191-1196.
- Friedler, E. (2004) Quality of individual domestic grey water streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities. *Environmental Technology* 25(9), 997-1008.
- Gerba, C.P., Straub, T.M., Rose, J.B., Karpiscak, M.M., Foster, K.E. and Brittain, R.G. (1995) Water quality study of graywater treatment systems. *Water Resources Bulletin* 31(1), 109-116.
- Goldmann, D.A. (2000) Transmission of viral respiratory infections in the home. *The Pediatric Infectious Disease Journal* 19(10), S97-102.
- Graywater Guide,
http://www.owue.water.ca.gov/docs/graywater_guide_book.pdf.
- Greywater guidelines for protection of human health and the environment used across Australia.
<http://www.recycledwater.com.au/index.php?page=guidelines>.
- Grupo de trabajo: AHA. Campañas de ahorro de agua: lecciones aprendidas.

- Grupo Tragsa, José M^a González Ortega,(2009). Características de las instalaciones de riego para utilización de aguas regeneradas y efectos sobre las mismas. XVII Congreso Nacional de Riego. Murcia.
- Hansgrohe, (2007). Informe sobre el consumo de agua en los hogares españoles.
- Hansgrohe (Pontos Aquacycle). Website,
http://www.hansgrohe.es/es_es/78867.htm.
- Hardalo, C. and Edberg, S.C. (1997) *Pseudomonas aeruginosa*: assessment of risk from drinking water. *Critical Reviews in Microbiology* 23(1), 47-75.
- ICONA. (1987). Mapa de las Series de Vegetación de España. Estaciones bioclimáticas en las Islas Canarias.
- Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (2004). Life Lanzarote 2001-204, Aproximación a una eco-ordenanza insular para la gestión de la demanda de agua en la edificación de Lanzarote.
<http://www.cabildodelanzarote.com/ecotasa/des9.pdf>
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R. and Judd, S. (2004) Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology* 50(2), 157-164.
- Jeppesen, B. and Solley, D. (1994). Domestic greywater reuse: Overseas practice and its applicability to Australia. Research Report No. 73. Urban Water Research Association of Australia. Brisbane, Australia.
- Lillo García, L. (2007). Cálculo y diseño de la instalación de reutilización de aguas grises y recogida de aguas pluviales en un edificio de viviendas. Departamento Mecánica de Fluidos. Ingeniería Técnica Industrial Especialidad Mecánica.
- Lluís Huguet, J.(2007). El agua en la Bioconstrucción, pluviales y grises. Asociación de Estudios Geobiológicos GEA.
- Loh and Coghlan, (2003). Domestic water use study: In Perth, Western Australia 1998-2001. Water Corporation. Perth, Australia.
- Lye, D.J. (1992) Microbiology of rain water cistern systems: a review. *Journal of Environmental Science and Health A27*(8), 2123-2166.
- Manual de Arquitectura Bioclimática para Canarias (MABICAN), 2008.
- Miliarium.com Ingeniería Civil y Medio Ambiente.
http://www.miliarium.com/Monografias/Sequia/Consumo_Agua.htm
- Mujeriego, R. (2005). La reutilización, la regulación y la desalación de agua. Ingeniería y Territorio, No. 72. ISSN: 1695-9647. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.
<http://www.ciccp.es/revistait/>
- Mujeriego, R. (2006). La reutilización planificada del agua para regadío. Ponencia presentada en el XI Congreso Nacional de Comunidades de Regantes de España, Palma de Mallorca, 15–19 de mayo de 2006. Actas del Congreso,FENACORE, Madrid.
- Mujeriego, R. La Reutilización, La Regulación y La Desalación en la Gestión Integrada del Agua. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Mujeriego, R. La Reutilización Planificada del Agua. Aspectos reglamentarios, sanitarios, técnicos y de gestión. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- NSW Guidelines for Greywter reuse in sewerred, single household residential premises, (March 2007). Department of Energy, Utilities and Sustainability. NSW Government. www.deus.nsw.gov.au
- Oasis Designs, <http://www.oasisdesign.net/greywater/index.htm>
- Olson E. (1967). Residential Wastewater. The Swedish National Institute for Building Research.

- Ordenanza de Gestión y Uso eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid, (2006). BO.Ayuntamiento de Madrid 22/06/2006 num. 5709 pag.2410-2443.
- Ordenanza Municipal para el ahorro de Agua (2005). Grupo de trabajo Nueva Cultura del Agua “Xarxa de Citatats i Pobles capa a la Sostenibilitat”. Diputació de Barcelona. www.diba.es/xarxasost.
- Organización Mundial de la Salud (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Ginebra, Suiza.
http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/gsuweg2/en/index.html
- Patterson, R.A. (1999). Reuse Initiatives Start in the Supermarket. NSW Country Convention. Institution of Engineers Australia. 6-8 August 1999. Northern Group, Institution of Engineers Australia, Armidale.
- Patterson,R.A.(2006). Consideration of soil sodicity when assessing land application of wastewater or greywater.Septic Safe Environmental Health and Protection Guidelines. Technical Sheet Reference 01/7. Department of Local Government and Lanfax Laboratories.
- Patterson, R.A. Laundry Products Research, summary paper on website (www.lanfaxlabs.com.au).
- Plan Hidrológico de Canarias; Servicio de Estadística. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación.
- Proyecto AQUAMAC, 2005. Propuesta de recomendaciones normativas para promover la gestión sostenible del agua en la Macaronesia. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
- Real Decreto 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- Remosa, (2009).Tarifa de consumo 2009. Zona Industrial Abadal. c/ Molí de Reguant, 2. 08260 Súria (Barcelona).
www.remosa.net.
- Remosa, (2009). Tarifa técnica 2009. Zona Industrial Abadal. c/ Molí de Reguant, 2. 08260 Súria (Barcelona).
www.regeneraciondeaguas.com.
- Reymndo Izard,A. (2008). Estudio informativo Estudios previos de ordenación de volúmenes para el desarrollo de unos edificios de viviendas sociales de alta sostenibilidad y eficiencia energética en una parcela de propiedad municipal situada en la C/ Resbalada del municipio de la Victoria.
- Rose, J.B., Sun, G., Gerba C.P. and Sinclair, N.A. (1991) Microbial quality and persistence of enteric pathogens in graywater from various household sources. *Water Research* 25(1), 37-42.
- Simmons, G., Hope, V., Lewis, G., Whitmore, J. and Gao, W. (2001) Contamination of potable roof-collected rain water in Auckland, New Zealand. *Water Research* 35(6), 1518-1524.
- Tchobanoglous, G. and Angelakis, A.N. (1996) Technologies for wastewater treatment appropriate for reuse: potential for applications in Greece. *Water Science and Technology* 33, 15-24.
- The Irrigation Association, irrigation information, <http://www.irrigation.org>
- United States Environmental Protection Agency and United States Agency for International Development (2004). Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-04/108, September 2004. Office of Water, Washington, D.C., y Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio.
<http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r04108/625r04108.htm>.

-
- University of Arizona . Water Resources Research Center. College of Agriculture and Life Sciences.
<http://ag.arizona.edu/AZWATER/arroyo/071rain.html>.
- USEPA ,(1995).Cleaner Water Through Conservation - U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C.
- Vall L. Little. Guía para la Conservación de las Aguas Grises. La Alianza para la Conservación del Agua del Sur de Arizona.
- Veolia Water Solutions & Technologies, (2008). Proyecto de demostración. Eliminación de huevos de helmintos parásitos durante la regeneración de agua con filtro de mallas Hydrotech Discfilter.
- Wertheim, H.F.L., Melles, D.C., Vos, M.C., van Leeuwen, W., van Belkum, A., Verbrugh, H.A. and Nouwen, J.L. (2005) The role of nasal carriage in *Staphylococcus aureus* infections. *Lancet Infectious Diseases* 5(12), 751-762.
- Wescot y Ayers, (1990). Manual preáctico de riego con agua municipal depurada.

ANEXO
CARACTERÍSTICAS AGUAS GRISES EN LA CIUDAD DE SÍDNEY

La ciudad de Sídney dispone de una dotación de 275 L/hab-día, muy superior al caso que nos concierne, pero que ayuda a entender la gran biodiversidad existente entre distintas zonas del mundo. A continuación, mostramos mediante gráficas y tablas el consumo de agua realizado en la ciudad de Sídney así como, el volumen de aguas grises generado.

La Tabla A.1 muestra los volúmenes de agua previstos en la realización de distintas actividades domésticas por persona y día.

Tabla A.1. Volúmen de agua usado en distintas actividades domésticas (Loh and Coghlan, 2003).

Dispositivo	Consumo viviendas	
	L/casa-día*	L/hab-día
Baño y ducha	198	66
Lavadora	141	47
Subtotal aguas grises	339	113
Lavabo	124	41
Grifos (incluido cocina)	140	47
Total	603	201

*Basado en 3 personas por casa

La Figura A.1 muestra la proporción de agua usada en distintas disciplinas y la cual estará disponible para una futura reutilización. Se debe considerar que el uso es variable en función de la práctica de cada hogar.

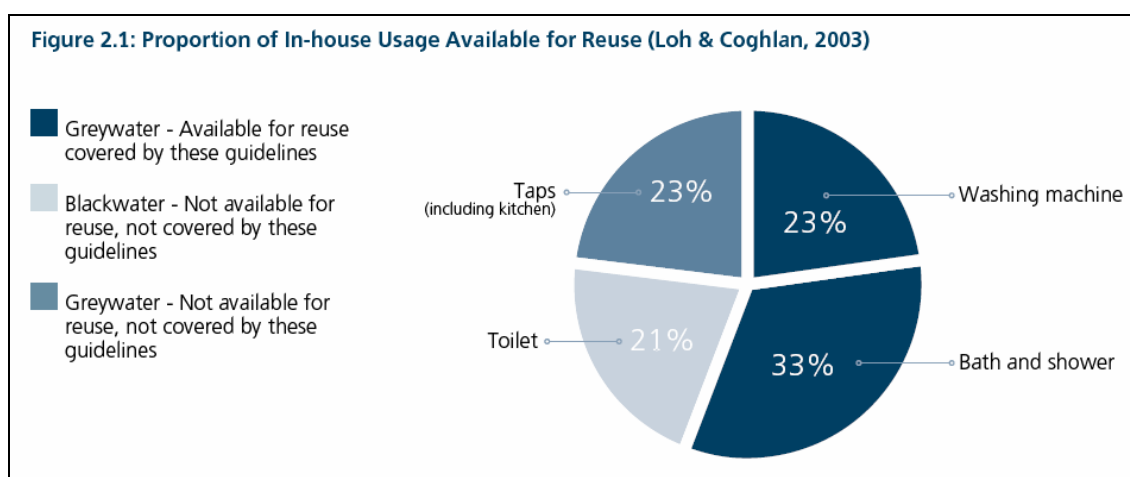


Figura A.1. Proporción de agua usada en distintas disciplinas domésticas (NSW Guidelines, 2007).

Cálculo volumen aguas grises generado en una casa

Teniendo en cuenta las condiciones concretas de cada vivienda, en el oeste de Australia se ha desarrollado un modelo de cálculo personalizado que permite evaluar el volumen de aguas grises generado en un hogar (NSW Guidelines, 2007).

En primer lugar se debe calcular el número de ocupantes de una casa considerando,

- 2 personas para el primer dormitorio.
- 1 persona por habitación adicional.

Seguidamente, se calcula la asignación de flujo de aguas grises diaria de cada persona
117 litros por persona y día *

*Esta cifra se basa en 24L de cocina, 42L para lavandería y 51L para baño.

El flujo de aguas grises se basa en el número de habitaciones más que, en el número de personas que ocupan una vivienda, ya que el número de dormitorios se mantendrá constante, mientras que el número de personas puede variar con el tiempo.

La Tabla A.2 muestra la relación entre número de habitaciones existentes en una casa y el volumen de aguas grises que se genera en ella (NSW Guidelines, 2007).

Tabla A.2. Volumen diario de agua gris generado en una vivienda (NSW Guidelines,2007).

Número de habitaciones	Volumen aguas grises (litros per día)			
	Fuente de aguas grises			Flujo de aguas grises total
	Cocina	Lavadero	Cuarto de baño	
2 o menos	72	126	153	351
3	96	168	204	468
4	120	210	255	585
5 o más	144	252	306	702

Los datos descritos en la Tabla Anejo.2 pueden ser usados para calcular la cantidad de aguas grises que se pueden generar en el cuarto de baño, la lavandería, o en ambos, dependiendo de cuánta gente vive en la casa. Sin embargo, hay una gran variabilidad asociada a la generación de aguas grises. Para estimar la cantidad de aguas grises generadas en una vivienda, es mejor determinar el potencial de generación de aguas grises de los electrodomésticos. Los accesorios o aparatos que pueden ser utilizados son los siguientes:

1. Ducha

Para estimar la cantidad de aguas grises que se genera por la ducha, tienen que ser determinados el número de residentes y el tipo de cabeza de ducha instalada en la casa. Las cabezas de ducha se clasifican en el marco del agua y normas de etiquetado (WELS) en función de la cantidad de agua que utilizan y van desde 1-Star a 6-Star. Sólo 1-Star o 3-Star están disponibles actualmente (NSW Guidelines, 2007). La Tabla A.3 ofrece un resumen general.

Una vez que el número de residentes y el tipo de cabeza de la ducha se conocen, se puede determinar la cantidad de aguas grises generadas cuyos valores se recogen en la Tabla A.4. Se supone que la duración promedio de ducha es de siete minutos (Loh y Coughlan, 2003) y que todos los residentes toman una ducha al día.

Tabla A.3. Aguas grises generadas en función del tipo de cabeza de ducha (NSW Guidelines, 2007).

Fecha instalación	Tipos cabeza de ducha (WELS)	Flujo de agua (L/min)
Como parte de WaterFix o un programa similar de eficiencia del agua	3-Star	9
En los últimos 15 años	2-Star	12
Hace más de 15 años	1-Star	16

Source: AS/NZS 6400:2005

Tabla A.4. Aguas grises generadas por una ducha (NSW Guidelines, 2007).

Número de residentes	Agua gris generada por la ducha (y baño) (L/semana)		
	Cabeza de ducha 1-Star	Cabeza de ducha 2-Star	Cabeza de ducha 3-Star
1	784	588	441
2	1568	1176	882
3	2352	1764	1323
4	3136	2352	1764
5	3920	2940	2205
6	4704	3528	2664
7	5488	4116	3087

Assumptions: Average shower: 7 minutes (Source: Loh and Coughlan, 2003). Every resident showers (or bathes) once per day (7 times/week).

2. Baño

La cantidad de aguas grises generadas por un baño oscila entre 60 y 300 litros, dependiendo del tamaño y nivel al que llega el agua en la bañera. Un baño de tamaño medio es de 260 litros cuando la bañera está llena. Sin embargo, la mayoría de los baños se llenan de entre un cuarto a la mitad del nivel, lo que genera entre 60 y 130 litros de aguas grises. Esto es el equivalente de una ducha de siete minutos, por lo que la estimación de la

cantidad de agua generada por la ducha puede ser utilizada para estimar la cantidad de agua generada por el baño (Tabla 3.6.) (NSW Guidelines, 2007).

3. Grifos del baño

Para estimar la cantidad de aguas grises que se genera por el uso de los grifos de baño, es básico conocer el número de residentes. Se estima que cada persona utiliza 4 litros de agua por día (lavado de cara, cepillado de los dientes, el lavado de manos) (NSW Guidelines, 2007). La Tabla A.5 muestra los volúmenes generados por cada residente.

Tabla.A.5. Aguas grises generadas en el lavabo (NSW Guidelines, 2007).

Número de residentes	Agua gris generada a través de los grifos del baño (L/semana)
1	28
2	56
3	84
4	112
5	140
6	168
7	193

4. Lavadora

Para estimar la cantidad de aguas grises que se generan por el uso de las lavadoras, es necesario determinar el número de residentes en la vivienda (o el número de lavados por semana) y el tipo de lavadora.

Las lavadoras pueden ser de carga frontal o de carga superior, pequeñas (de hasta 5,5 kg), medianas (6 - 7 kg), o grandes (más de 7,5 kg). En general, las lavadoras de carga frontal son más eficientes que las de carga superior (Revista de Choice, 2003). La mayoría de las lavadoras de carga frontal, es de tamaño medio y tiene una calificación de 4-Star en (WELS). La media de las lavadoras de carga superior, es de tamaño grande y tienen un 2-Stars como categoría. El tamaño de la lavadora se puede encontrar en el manual de usuario o escrita en la propia máquina; alternatively, los propietarios y los residentes pueden suponer que un lavado de carga frontal es de tamaño medio y una lavadora de carga superior es grande (NSW Guidelines, 2007).

La Tabla A.6 puede usarse para estimar la cantidad de agua generada por una lavadora por semana. El número de los residentes o el número de lavados por semana puede ser igualado con el tipo de lavadora (NSW Guidelines, 2007).

Tabla A.6. Aguas grises generadas a través de la lavadora (NSW Guidelines, 2007).

Número de residentes	Número de lavados por semana	Agua gris – Lavadora (L/semana)					
		Lavadora carga frontal			Lavadora carga superior		
		Pequeña (5.5 kg)	Media (6-7kg)	Grande (más 7,5 kg)	Pequeña (5.5 kg)	Media (6-7kg)	Grande (más 7.5 kg)
1	2	103	133	164	210	273	336
2	3	154	200	246	315	410	504
3	4	205	267	328	420	546	672
4	6	308	400	492	630	819	1008
5	7	359	466	574	735	956	1176
6	8	410	533	656	840	1092	1344
7	9	461	600	738	945	1229	1512

5. Lavandería

Se considera aquella agua usada para remojar la ropa y el lavado a mano de prendas delicadas. El agua que se ha utilizado para lavar los pañales o la ropa sucia no debe ser considerada como agua gris debido a la alta carga de patógenos. Se calcula que una vivienda con tres o menos residentes utiliza el equivalente de la mitad de un lavadero de agua por semana (una lavadero tiene una capacidad máxima de 50 litros), y una vivienda con cuatro o más residentes usa el equivalente de un lavadero lleno de agua por semana. La Tabla A.7 muestra la cantidad de aguas grises generadas por tareas de lavandería (NSW Guidelines, 2007).

Tabla 3.9. Aguas grises generadas por la lavandería (NSW Guidelines, 2007).

Número de residentes	Agua gris – Grifos (L/semana)
3 o menos	25
4 o más	50